

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, Postbus 17
6700 AA Wageningen
Tel.: 08370-19013

(publikatie uitsluitend met
toestemming van de directeur)

Dit rapport is uitgebracht bij TNO onder nr. 88.1003

RAPPORT NO. 2356 - 4-10-'88

H.J. Lelie, J. de Maaker,
E.C. Otma, M.A.A.M. Schets,
J.W. Rudolphij, C. Sonneveld

ONTWIKKELING VAN EEN MODEL VOOR
MA-KLEINVERPAKKINGEN VOOR
GROENTEN EN FRUIT

Uitgebracht aan het Produktschap voor Groenten en Fruit en aan het
Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen in Nederland
Project no. 145
ISSN 0169 765X
Oktober 1988

INHOUD

	<u>blz.</u>
1. Inleiding	4
2. Overzicht onderzoekactiviteiten	5
2.1. Rekenmodel	5
2.2. Produktgegevens	5
2.3. Verpakkingsonderzoek	5
2.4. Verificatie rekenmodel	6
3. Theoretische beschouwing	6
4. Rekenmodel	7
4.1. Beschrijving model	7
4.2. Beschrijving van de input	9
5. Resultaat van onderzoek naar produkt- en foliegegevens nodig om het model te kunnen invullen	13
5.1. Algemeen, materiaal en methoden produktonderzoek	13
5.1.1. Ademhalingsactiviteit	14
5.1.2. Relatieve ademhalingsactiviteit	15
5.1.3. Gewenste CA-condities	16
5.2. Algemeen, materiaal en methoden folie-onderzoek	19
5.2.1. Doorlatendheden	20
5.2.2. Heatsealbaarheid	20
5.2.3. Transparantie	20
5.3. Inventarisatie van de gascondities in de huidige champignonverpakkingen	20
5.4. Conclusies/discussie gegevensonderzoek	21
5.4.1. Produkt	21
5.4.2. Verpakkingsmateriaal	22
6. Verificatie van het rekenmodel	23
6.1. Verificatieresultaat	23
6.2. Discussie toepassing	27
7. Samenvatting/conclusies	27

Bijlagen/afbeeldingen

1. INLEIDING

De distributie van groenten en fruit na de oogst tot aan de consument vraagt een zekere tijd. Die tijd dient noodgedwongen tot één of enkele dagen beperkt te blijven voor zeer bederfelijke produkten als kleinfruit, bladgroenten en champignons en kan door middel van gekoelde opslag en/of opslag in een luchtsamenstelling met verlaagd zuurstofgehalte en verhoogd koolzuurgehalte (CA-opslag = "Controlled Atmosphere"-opslag) soms tot vele maanden worden uitgebreid voor minder bederfelijke produkten zoals hardfruit, bol- en knolgewassen en sluitkoolsoorten. Een onderzoekdoel is dan ook om voor de meer bederfelijke produkten middelen te vinden om de naoogst-periode te verlengen.

De belangrijkste voorwaarde bij alle vormen van opslag en distributie is het minimaal houden van het kwaliteitsverlies. Dat betekent het remmen van de afleving, het voorkomen van microbieel of fysiologisch bederf, het beperken van de uitdroging en het voorkomen van beschadiging.

Wat de afleving van het produkt betreft wordt getracht de ademhalingsactiviteit terug te dringen. De middelen om dat te bereiken zijn, zoals reeds genoemd: verlaging van de produkttemperatuur en aanpassing van de luchtsamenstelling in de omgeving van het produkt. Er zijn produkten die gevoelig zijn voor ethyleengas (C_2H_4), waarvan de aanwezigheid reeds op ppm¹-niveau de afleving kan versnellen. Bij voorkeur moet de produktomgeving dus vrij van ethyleen worden gehouden. Vervolgens is de vochthuishouding van belang. Aan de ene kant dient uitdroging te worden voorkomen, aan de andere kant is er in een vochtige omgeving een verhoogde kans op microbieel bederf. Tenslotte mag het produkt in het distributieproces niet worden beschadigd en dit kan worden beïnvloed door een verpakking met een voldoende hoge beschermingsgraad te gebruiken.

Voor alle produkten kan een optimaal opslagklimaat (temperatuur; O_2 -; CO_2 -gehalte; luchtvochtigheid) worden aangegeven. Echter in veel delen van de distributieketen, bijvoorbeeld bij de detailhandel waar het produkt overdag zichtbaar voor het publiek ligt uitgesteld, is het handhaven van een dergelijk optimaal opslagklimaat vrijwel uitgesloten. Kennis van het ademhalingsniveau van het produkt onder suboptimale condities is dan van belang als grondslag voor het voorspellen van de kwaliteitsontwikkeling.

Van de verschillende verpakkingsvormen zijn het de kleinverpakkingen of consumentenverpakkingen, die eenmaal samengesteld de gehele verdere distributieketen intact kunnen blijven. Bij deze verpakkingen worden kunststoffolies als verpakkingsmateriaal toegepast. Tot op zekere hoogte kan de doorlatendheid van deze folies voor zuurstof (O_2), koolzuur (CO_2), waterdamp (H_2O) en ethyleengas (C_2H_4) gemanipuleerd worden. Onder gebruikmaking van de ademhalingsactiviteit van het produkt is het dan in principe mogelijk binnen de consumentenverpakking een MA (modified atmosphere) te creëren met een remmende invloed op de ademhalingsactiviteit en met een regulerende werking op de uitdroging van het produkt. De doorlatendheid van de verpakking voor de verschillende gassen dient dan zodanig te zijn, dat enerzijds de te veel geproduceerde CO_2 wordt afgevoerd ter voorkoming van koolzuurbederf en anderzijds een geringe hoeveelheid O_2 wordt toegelaten om zuurstofgebrek te vermijden. Ook dient de folie in staat te zijn om waterdamp af te voeren. Of en in welke hoeveelheid is afhankelijk van het produkt.

Niet alle produkten reageren goed op CA-omstandigheden. Maar voor de produkten die dat wel doen, kan in theorie met behulp van de kleinverpakking een aantal van de in het begin van de in de inleiding genoemde factoren voor kwaliteitsbehoud in de distributieketen worden beheerst. Blijft als storende factor voor de gasbalans in de verpakking hoofdzakelijk over de temperatuur via zijn invloed op de ademhalingsactiviteit. De vraag of MA-verpakkingen alleen dan kunnen functio-

¹) ppm (parts per million) = volumedelen per miljoen

neren wanneer in de distributieketen een smalle temperatuurband wordt aangehouden, dan wel of er voldoende compenserende effecten zijn om een bij voorkeur gewenste bredere temperatuurband toe te laten, kan inzichtelijk worden beantwoord langs de weg van een modelbenadering van het gasproductie- en gasuitwisselingsproces.

In opdracht van het Produktschap voor Groenten en Fruit is door IvV-TNO en Sprenger Instituut medio 1985 een onderzoek gestart naar de mogelijkheid van het MA-verpakken van groenten en fruit in consumenteneenheden. Doel van het onderzoek is geweest het opstellen en toetsen van een rekenkundig model, waarmee op basis van produktgegevens (o.a. ademhalingsactiviteit onder verschillende CA-omstandigheden, temperatuur en hoeveelheid produkt in de verpakking) de gewenste barrière-eigenschappen van de toe te passen folies zouden kunnen worden vastgesteld. In verband met de voor het onderzoek wenselijke beschikbaarheid van een jaarrond te verkrijgen produkt in een constante kwaliteit, is het onderzoek gericht op de champignon-verpakking. De begeleiding en coördinatie van het onderzoek heeft plaatsgevonden in een werkgroep onder voorzitterschap van het Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen.

2. OVERZICHT ONDERZOEKACTIVITEITEN

2.1. Rekenmodel

Het is mogelijk de processen van produktademhaling en diffusie vanaf het moment van verpakken gedurende vele korte, op elkaar volgende perioden m.b.v. bestaande wetten, fysische produktgegevens en rekenmethoden bij benadering te volgen. Op deze wijze worden dus indrukken verkregen van de veranderingen van het interne klimaat en de uiteindelijke evenwichtssituatie in verpakkingen. Door het IvV is in overleg met het Sprenger Instituut een rekenprogramma opgesteld, dat het verloop in de tijd van het interne klimaat in een verpakking beschrijft.

2.2. Produktgegevens

Reeds bij het begin van het onderzoek is besloten het rekenmodel te ontwikkelen en te toetsen m.b.v. een concreet produkt. Hiervoor zijn champignons gekozen, omdat dit produkt het gehele jaar beschikbaar is.

De voor het rekenmodel benodigde produktgegevens betreffen:

- de absolute ademhalingsactiviteit (= a.a.) bij 0 tot 20°C, 21% O₂ en 0% CO₂ in 1 CO₂/ton.24 h.
- de relatieve ademhalingsactiviteit (= r.a.) bij 5 tot 15°C, 0 tot 21% O₂ en 0 tot 15% CO₂ in procenten van de a.a.
- de optimale bewaaratmosfeer.

Deze produktgegevens zijn bepaald door het Sprenger Instituut met methoden als beschreven in de bijlagen 1, 2 en 3. Later, tijdens de verifiëring van het rekenmodel, zijn van champignons de a.a.'s gemeten door het IvV met de methode beschreven in bijlage 4. Tevens zijn t.b.v. deze verificatie de soortelijke massa's van de champignons gemeten (bijlage 5).

2.3. Verpakkingsonderzoek

Het rekenprogramma moet resulteren in vereiste gasdoorlatendheden van de complete verpakking, waarmee gegeven de temperatuur de bijbehorende optimale bewaar-atmosfeer gerealiseerd kan worden. De optimale bewaaratmosfeer bij hogere temperaturen dan de gebruikelijke opslagtemperatuur is lang niet altijd bekend. Kennis van de barrière-eigenschappen van verpakkingsmaterialen is vervolgens voorwaarde om MA-verpakkingen te kunnen realiseren.

Het verpakkingsonderzoek bestond derhalve uit:

1. een oriëntatie op de markt;
2. het selecteren van materialen op basis van hun doorlatendheid;
3. onderzoek m.b.t. barrière-eigenschappen aan de geselecteerde materialen.
N.B. Reeds spoedig bleek, dat alleen materialen met zeer hoge gasdoorlatendheden voor mogelijke toepassing in aanmerking konden komen. Voor het meten van deze hoge gasdoorlatendheden is een aangepaste methode ontwikkeld (bijlage 6).
Alle materialen werden onderzocht bij 10°C onder droge en natte condities. In enkele gevallen werden ook metingen gedaan bij 5 en 15°C of na verstrekken van de film.
4. De verzamelde verpakkingsmaterialen werden voorts oriënterend onderzocht op heatsealbaarheid en transparantie.

2.4. Verificatie rekenmodel

Ten behoeve van de verificatie van het ontwikkelde rekenmodel werden een aantal experimentele verpakkingen gemaakt m.b.v. de geselecteerde materialen. Met deze verpakkingen werden opslagproeven met champignons uitgevoerd waarbij de veranderingen in zuurstof- en koolzuurconcentraties werden gemeten m.b.v. een gaschromatograaf.

Aan de hand van het m.b.v. het model berekende en gemeten verloop van het klimaat binnen diverse proefverpakkingen tijdens opslag bij 10°C werd getracht de betrouwbaarheid van het rekenmodel te beoordelen, afwijkingen vast te stellen, etc.

In totaal werden 5 opslagproeven/experimenten uitgevoerd. De proeven werden uitgevoerd met glazen en kunststof bakjes die gesloten werden met verschillende gasdoorlatende verpakkingsfolies. De inhoud aan champignons, gasvolume en beschikbaar permeatie-oppervlak varieerde.

3. THEORETISCHE BESCHOUWING

Tijdens het verpakken van groenten en fruit in consumenteneenheden wordt (tot nu toe) een hoeveelheid lucht meeverpakt. Door de voortgaande stofwisseling van deze produkten zal de gassamenstelling binnen de verpakking veranderen afhankelijk van de dichtheid van die verpakking.

De partiële drukken van zuurstof en koolzuur nemen af resp. toe. Door de gevormde waterdamp (H_2O) zal de relatieve vochtigheid binnen de verpakking stijgen tot nabij 100%. Er ontstaan aldus verschillen met de externe partiële drukken. Hierdoor zal diffusie van genoemde gassen en waterdamp in en uit de verpakking starten. Als gevolg van verschillen in de doorlatendheid van vele verpakkingsmaterialen voor zuurstof en koolzuur kan ook de stikstof-partiële druk veranderen. Hoewel dit gas niet reageert met het produkt is het in verband met de volumeverandering bij niet-starre verpakkingen nuttig ook de stikstofverandering bij deze beschouwing te betrekken.

De diffusie werkt voor de verschillende gassen compenserend op de verandering in de gassamenstelling. Aanvankelijk overheersen de veranderingen, die door het produkt geïnduceerd worden. Direct na het verpakken zijn dus een daling van de O_2 -concentratie en een stijging van de CO_2 -concentratie te verwachten. Wanneer echter de verschillen tussen de in- en externe partiële drukken toenemen, wordt de invloed van de diffusie door de verpakking groter. De veranderingen van de gasconcentraties per tijdseenheid worden dus geleidelijk kleiner. Uiteindelijk wordt een evenwicht bereikt, waarin de veranderingen door de produktademhaling

gelijk zijn aan de correcties door de diffusie. Door de juiste keuze van materiaal, afmetingen van de verpakking t.o.v. de produkthoeveelheid en door de keuze van een verpakkingsvorm met een goed gedefinieerd doorlatend oppervlak, kan men streven naar een evenwichtssituatie; een interne atmosfeer waarbij het produkt, gegeven de temperaturen in de afzetketen, maximaal houdbaar blijft.

4. REKENMODEL

4.1. Beschrijving model

Het vereenvoudigde schema van het uiteindelijke rekenprogramma staat afgebeeld in afb. 1 (zie bijlage 7 voor de listing van het computerprogramma in basic). Het uitgangspunt is het moment van verpakken, waarbij ook lucht met het produkt verpakt wordt.

De volgende gegevens worden hier ingevoerd:

Produktnaam	
R.a. matrix	
(r.a. = relatieve ademhalingsactiviteit)	in %
A.a. matrix bij T°C	
(a.a. = absolute ademhalingsactiviteit)	in l/ton. 24 h.
Beginmassa produkt (G _o)	in kg
Gasvolume (V)	in ml
Diffusie-oppervlak van de verpakking (O)	in cm ²
Temperatuur (T)	in °C
Druk (P _o); totaaldruk in de verpakking bij de start	in bar (= 100 kPa)
Gassamenstelling (O ₂ , CO ₂ , N ₂)	in %
Relatieve vochtigheid (r.v.)	in %
Permeaties van het verpakkingsmateriaal	
voor O ₂ , CO ₂ , N ₂	in ml/(m ² .24h. bar)
en H ₂ O	in g/(m ² .24h)

Deze gegevens worden automatisch omgerekend in:

- volume in m³
- temperatuur in °K
- diffusie-oppervlak in m²
- de hoeveelheden gassen in mol (V_x)
- de partieldrukken (p) van O₂, CO₂ en N₂ in bar
- de a.a. in mol/kg.s.bar
- de permeaties (P) voor O₂, CO₂ en N₂ in mol/m².s.bar

Voor korte perioden (δt) worden de veranderingen in de gassen binnen de verpakking als gevolg van diffusie en ademhaling berekend.

Door de diffusie veranderen de hoeveelheden gas in de verpakking volgens:

$$D_x = P_x \cdot O (p_{ux} - p_x) \quad \text{mol} \dots\dots(1)$$

p_{ux} = de partieldruk van het gas buiten de verpakking.

Voor de ademhaling worden die veranderingen berekend volgens:

$$A_x = (r.a.).(a.a.).G_t.\delta t \quad \text{mol} \dots\dots(2)$$

In de massa balansen worden voor alle gassen de netto-veranderingen en de eind-hoeveelheden bepaald volgens:

$$V_{x_1} = X_{x_0} + D_x + A_x \quad \text{mol} \dots\dots(3)$$

Alvorens weer terug te keren tot het begin berekent het programma eerst:

- de nieuwe gassamenstelling. Alleen de zuurstof- en koolzuur-concentratie worden in een grafiek tegen de tijd gelijktijdig uitgeprint;
- de nieuwe massa van het produkt (G_t). De massavermindering van het produkt als gevolg van de produktademhaling wordt bepaald op basis van de reactie

$$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$$
- de nieuwe partieeldrukken;
- het nieuwe gasvolume;
- de nieuwe r.a.

Daarna start de volgende rekencyclus, enz.

Opmerkingen

1. Het rekenprogramma start met verpakkingen, die met produkt en lucht gevuld worden. Na een kleine aanpassing kan het programma ook worden toegepast voor verpakkingen die met produkt en een bepaald gasmengsel gevuld worden.
2. Het rekenprogramma resulteert in een grafisch weergegeven verloop van de zuurstof- en koolzuurconcentratie binnen de verpakking in de tijd (zie bijv. afb. 2). Het beeld van deze lijnen komt overeen met de in hoofdstuk 3 vermelde verwachtingen.
3. De berekende grafieken vertonen dus een horizontaal verloop van de gasconcentraties, de reeds genoemde evenwichtssituatie. Het is de bedoeling de berekening te herhalen voor diverse in te voeren gasdoorlatendheden (in relatie met het diffusie-oppervlak), totdat als resultaat in de evenwichtssituatie de gewenste bewaaratmosfeer ontstaat. De hierbij horende gasdoorlatendheden zijn dan voor de betreffende hoeveelheid champignons de voor de houdbaarheid optimale waarden. Alles bij de temperatuur waarvoor de gegevens in het rekenmodel zijn ingevoerd.
 Deze berekening kan vrij snel uitgevoerd worden, wanneer men uitgaat van een vooraf bepaalde gewenste bewaaratmosfeer. Bij de hierbij opgegeven zuurstof- en koolzuurconcentratie behoort een bekende r.a. (op te zoeken in de matrix). Voor de optimale houdbaarheden geldt nu:

$$P_x \cdot (p_{ux} - p_x) \cdot 0 = G \cdot (r.a.) \cdot (a.a.) \dots\dots(4)$$

$$P_x = \frac{G \cdot (r.a.) \cdot (a.a.)}{(p_{ux} - p_x) \cdot 0}$$

P_x = de doorlatendheid van de verpakking voor gas X (O_2 , CO_2 , enz.).

Het rekenprogramma kan vervolgens nuttig toegepast worden voor de snelle vaststelling van:

- de tijdsduur, tot de evenwichtssituatie wordt bereikt (dus bijv. voor de vaststelling of begassing tijdens het verpakken nuttig is);

- de consequenties van afwijkende doorlatendheden (niet elke gewenste doorlatendheid kan gerealiseerd worden), afwijkend produkt (afwijkende a.a.) of afwijkende verpakkingsvorm, enz.
- 4. Het rekenprogramma werkt snel. Wanneer alle produktgegevens aanwezig zijn kan per situatie binnen 5 minuten een grafiek verkregen worden. Het programma start de berekeningen met intervalperioden (δt) van 14 minuten. Deze perioden kunnen echter naar believen worden gewijzigd. Voor het gebruik van het rekenprogramma moeten echter de nodige produktgegevens bekend zijn (o.a. de volledige r.a.-matrix). Dit kan in de praktijk een groot bezwaar zijn. Men kan (voorlopig) volstaan met de bepaling van de optimale bewaaratmosfeer en de a.a. onder die omstandigheden. De vereiste gasdoorlatendheden kunnen vervolgens berekend worden met (4). Het is echter zeer onwaarschijnlijk dat voor een willekeurig produkt met de beschikbare verpakkingsmaterialen exact aan die eisen kan worden voldaan. Door de beperkte produktinformatie kan in zo'n geval niet de gassamenstelling in de evenwichtssituatie berekend worden.
- 5. Uit ervaring met het programma volgt o.a. dat de inlooperperiode voor een groot deel bepaald wordt door het gasvolume (V) binnen de verpakking. Poreuze produkten met veel ingesloten lucht, zoals champignons, vereisen een langere inlooperperiode.
- 6. De invloed van de oplosbaarheid van gassen in de aanwezige sappen en het gevormde water zijn, op advies van het Sprenger Instituut, niet in de berekening meegenomen.
- 7. De invloed van micro-organismen op de a.a. is buiten beschouwing gebleven.
- 8. Verandering van de a.a. door bijv. veroudering van het produkt is ook buiten beschouwing gebleven.

4.2. Beschrijving van de input

In volgorde vraagt het programma de volgende input:

- 1) De naam van de file met de relatieve ademhalings(r.a.)-matrix. Voor een voorbeeld zie fig. 4, waarin voor het produkt champignon bij 10°C als functie van het zuurstofgehalte en het koolzuurgehalte en in gebieden oplopend met stappen van 5% de, ten opzichte van de ademhalingsactiviteit bij 21% O₂ en 0% CO₂, optredende resterende activiteit is gegeven in procenten. Zie eventueel bijlage 2 voor een nadere uiteenzetting van het begrip relatieve ademhaling.
- 2) De ademhalingsactiviteit in l/ton.24h bij de normale atmosferische omgeving (21% O₂ en 0%CO₂). Deze kan voor de gekozen temperatuur worden afgelezen uit een figuur als bijvoorbeeld fig. 3. Tezijnertijd zullen dergelijke gegevens, numeriek en verbonden aan de later in te toetsen produktnaam, in een produktdata-file worden opgenomen. Voor champignons bij 10°C ligt de af te lezen activiteit in het gebied 1000-1200 l/ton.24h.

3) De verdere input bestaat uit een menu als volgt; met defaultwaarden, die gewijzigd kunnen worden.

F1	Groente	: champignons	tijd:
F2	Gewicht	: 0.250 kg	
F3	Volume gas	: 500 ml	
F4	Opp. verp.	: 250 cm ²	
F5	Temperatuur	: 10.0 °C	
F6	Druk	: 1.0 bar	

F7 Gassamenstelling (%)

stikstof	: 79.0
zuurstof	: 21.0
koolzuur	: 0.0
rel.vochtigheid:	65.0

F8 Folie : Bunzl HPF 25

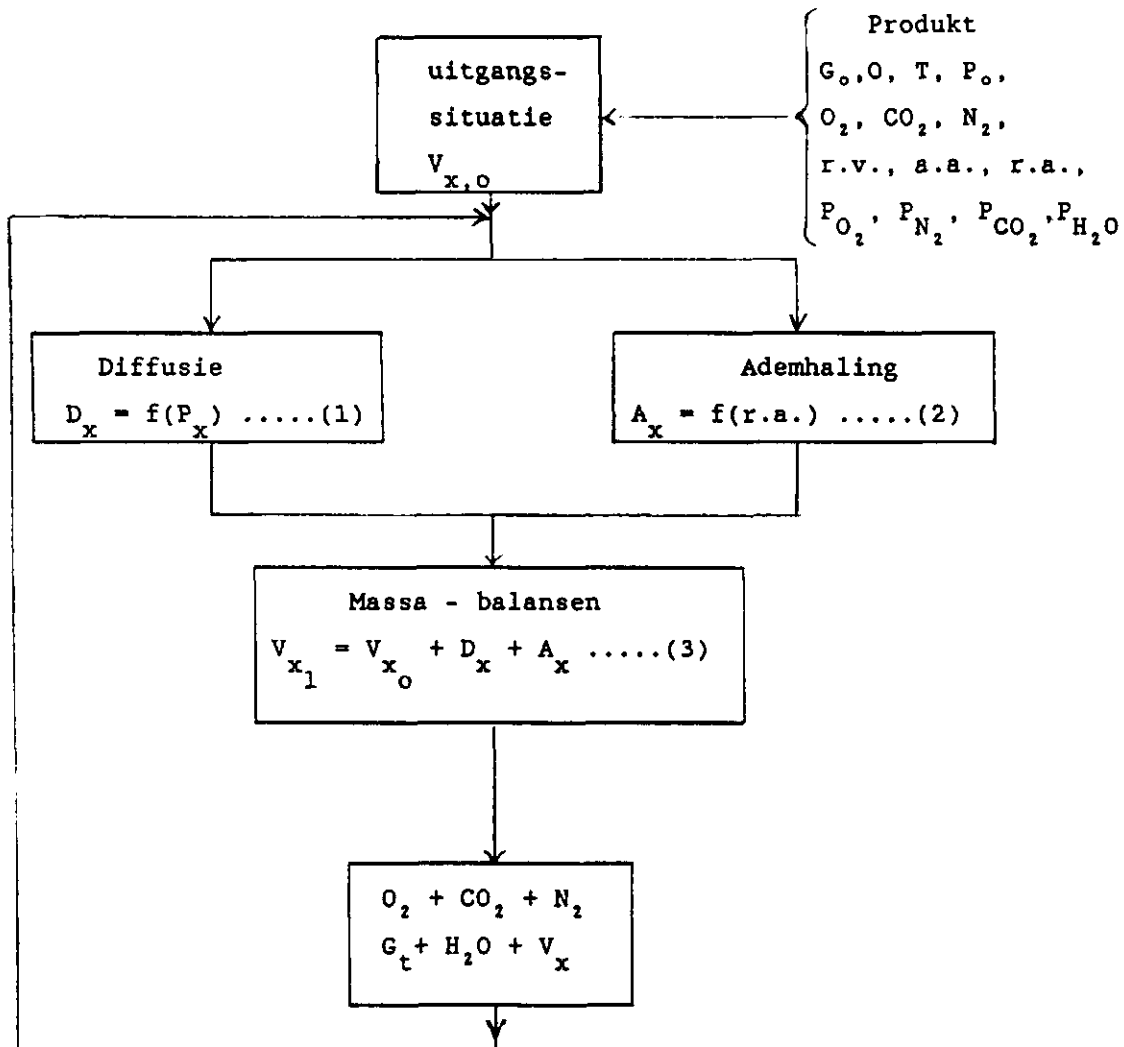
permeatie ml (STP)/(m².24h.bar)

stikstof	: 10200
zuurstof	: 44000
koolzuur	: 165000
waterdamp	: 12 g/(m ² .24h) 100-0% r.v.

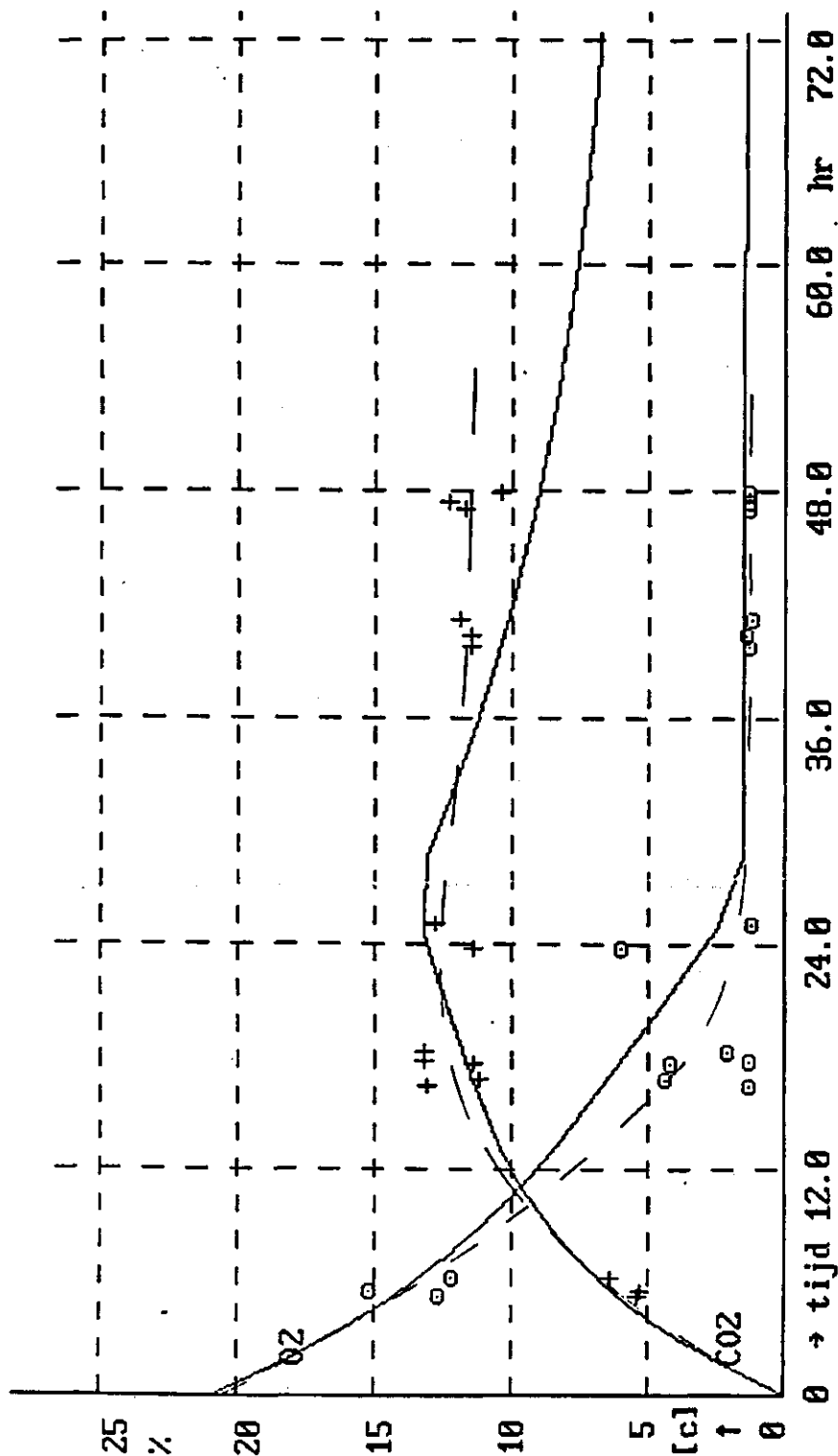
F9 Start programma

F10 Exit -->

Afb. 1: Vereenvoudigd rekenschema MA-verpakkingen



massa aan champignons: 0.149 kg
 ademhalingsactiviteit: 1150 l/(ton.24h)
 begin volume : 490 ml
 oppervlakte : 70 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 4300 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 18500
 CO₂: 66000
 waterdamp: 6 g/(m² 24h)



Afb. 2: 1e opslagproef, Bunzl HPF 50, a.a. = 1150 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

5. RESULTAAT VAN ONDERZOEK NAAR PRODUKT- EN FOLIEGEGEVENS NODIG OM HET MODEL TE KUNNEN INVULLEN

5.1. Algemeen, materiaal en methoden produktonderzoek

Wat de wijze van bepalen van de ademhalingsactiviteit betreft wordt verwezen naar de bijlagen 1 en 2. Het overige produktonderzoek betreft vooral het vaststellen van de gewenste CO_2 - O_2 combinatie binnen een verpakking.

De champignon is als modelprodukt gekozen, ook omdat werd verwacht dat CA-bewaring een belangrijke winst kon opleveren voor de houdbaarheid van champignons. Bovendien is de kwaliteitsachteruitgang duidelijk waar te nemen. Deze uit zich in: groei, bruinverkleuring, opengaan van de hoeden en smaakveranderingen. Hoewel het kwaliteitsverlies (vooral wat kleur betreft) waarschijnlijk het sterkst wordt tegengegaan door een temperatuurverlaging (tot $\pm 1^\circ\text{C}$), moet in het distributiekanaal toch rekening worden gehouden met een gemiddelde temperatuur van ca. 10°C . Bij deze temperatuur kan CA-bewaring mogelijk het kwaliteitsverlies van de champignon afremmen.

Uit vooronderzoek blijkt dat het percentage CO_2 niet te hoog mag zijn. 15% CO_2 geeft teveel bruinverkleuring terwijl 10% CO_2 waarschijnlijk een grensgeval is.

Om de optimale CA-conditie voor champignons te bepalen is een drietal proeven uitgevoerd met fijne champignons, klasse I.

Proef 1 en 2 omvatten een O_2 - resp. een CO_2 -reeks. Er werd gedurende 5 dagen bewaard bij 10°C , r.v. $> 97\%$, gevolgd door 1 dag nabewaren bij 15°C en r.v. 90% .

In proef 3 werden de champignons 5 en 9 dagen bewaard bij 7% CO_2 , 10°C , r.v. $> 97\%$ en bij verschillende O_2 -concentraties.

De champignons werden beoordeeld op:

groei - de totale lengtegroei van de champignons (steel + hoed) werd gemeten.

kleur - de visuele kleurbeoordeling vond plaats volgens een 5-punten schaal, waarbij 5 = wit, 1 = bruin en 3 = net voldoende. Als criterium is het percentage kleurachteruitgang (= bruinverkleuring) aangehouden.

open hoeden - een hoed is open wanneer het vlies is gebroken.

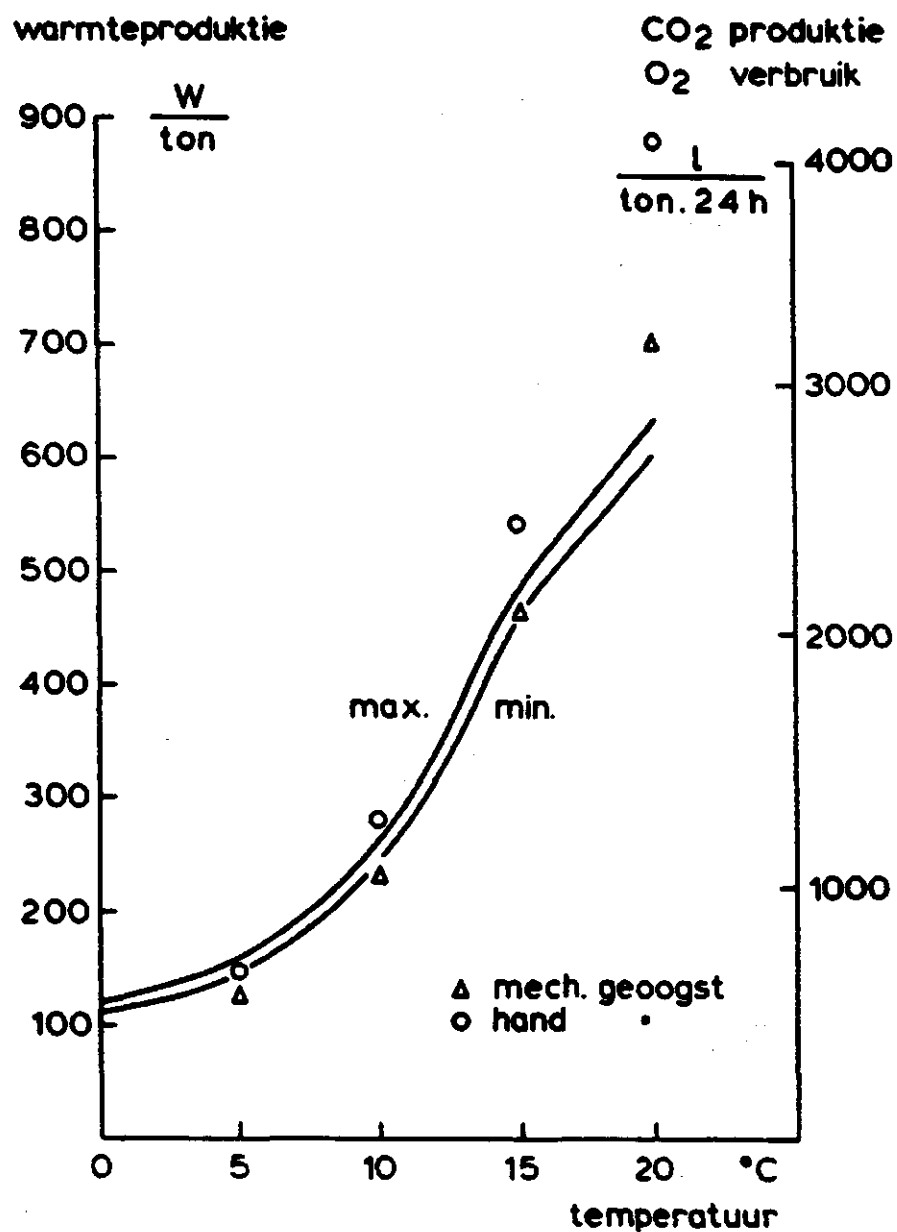
smaak - gecontroleerd werd op eventuele afwijkingen veroorzaakt door een te laag O_2 - of een te hoog CO_2 -gehalte.

Statistische verwerking: Op alle kwaliteitskenmerken (behalve smaak) van de proeven 1, 2 en 3 werd een variantie-analyse toegepast. Indien een factor een significante invloed had, werd de LSD-toets (Least Significant Difference) uitgevoerd. Er is steeds getoetst met een betrouwbaarheid van 5%.

Wanneer de interactie herkomst * conditie significant is, worden zowel herkomst als conditie in de tabel vermeld. Is de interactie niet significant, maar zijn de CA-condities wel significant verschillend, dan worden alleen de condities, gemiddeld over de herkomsten, weergegeven. Zijn de herkomsten significant verschillend dan wordt dit vermeld, maar in verband met de leesbaarheid van het verslag worden deze cijfers in de bijlagen (8-10 A & B) vermeld. In dit onderzoek zijn vooral de CA-condities van belang.

5.1.1. Ademhalingsactiviteit (a.a.)

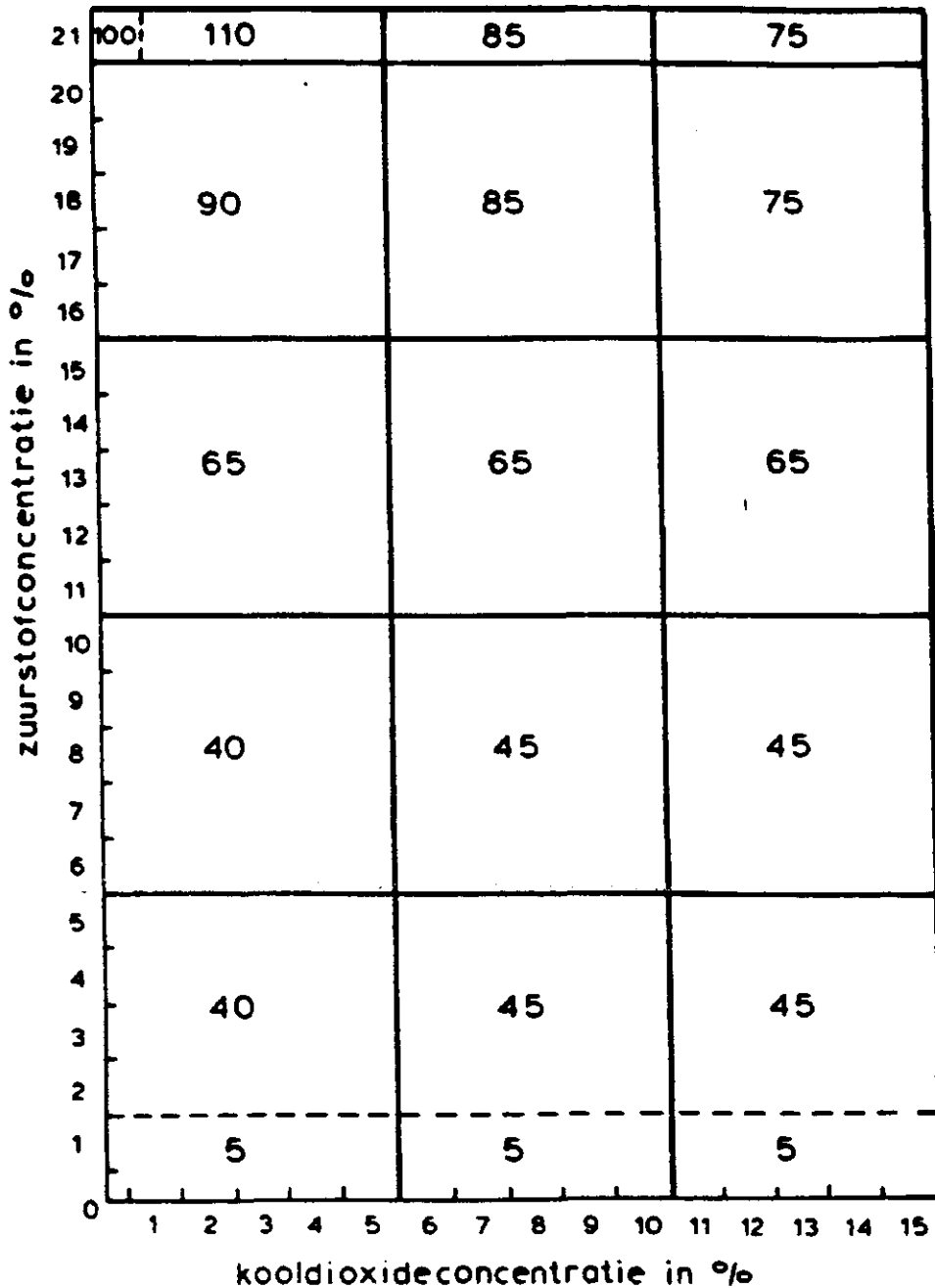
Het resultaat van metingen van de ademhalingsactiviteit van champignons als functie van de temperatuur in de luchtsamenstelling van de buitenlucht (21% O₂; 0% CO₂) is gegeven in figuur 3. De bepalingen zijn verricht volgens de methode beschreven in bijlage 1.



Figuur 3: De ademhalingsactiviteit van champignons.
De lijnen zijn Amerikaanse literatuurgegevens.
De punten zijn metingen van het Sprenger Instituut.

5.1.2. Relatieve ademhalingsactiviteit (r.a.)

De relatieve ademhalingsactiviteit van champignons bij 10°C is gegeven in de tabel van fig. 4. Bij een zuurstofgehalte in de meetvaten onder 1% komen we in het gebied van de anaerobe ademhaling. Wanneer bij 21% O₂ en 0% CO₂ het koolzuurgehalte iets wordt verhoogd treedt eerst een geringe stijging in de ademhalingsactiviteit op. De bepalingen zijn uitgewerkt volgens de methode beschreven in bijlage 2.



Figuur 4: De relatieve ademhalingsactiviteit in % van champignons bij 10°C als functie van de gassamenstelling; 100% bij 21% O₂ en 0% CO₂.

5.1.3. Gewenste CA-condities

Resultaten van de onder 5.1. vermelde proeven:

Het nabewaren gedurende 1 dag blijkt voor geen van de CA-condities een significant verschil op te leveren voor wat betreft de onderzochte kwaliteitskenmerken. In een enkel geval zorgt herkomstverschil voor verschil in groei of kleurachteruitgang. Omdat de gegevens van één dag nabewaren dus niet bijdragen tot bepaling van de beste CA-conditie voor de bewaring van champignons worden ze, uit het oogpunt van overzichtelijkheid, alleen in de bijlagen vermeld (bijlage 8C & D, 9C & D). Het resultaat van sensorisch onderzoek geeft in geen enkel geval afwijkingen te zien veroorzaakt door een te laag O_2 - of een te hoog CO_2 -gehalte. Daarom wordt er, bij de bespreking van de proeven, verder geen aandacht aan besteed. CA-bewaring lijkt dus wat smaak en consistentie betreft geen voordeel te bieden boven bewaring bij de gewone luchtsamenstelling. Na 5 dagen bewaring zijn alle champignons nog acceptabel. Alleen 7% CO_2 + 1% O_2 blijkt zowel in proef 2 als in proef 3 een fractie beter te zijn dan de andere luchtcondities. Negen dagen bewaren levert geen acceptabele kwaliteit meer.

Proef 1

In tabel 1 wordt de groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden weergegeven van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O_2 -concentraties en 0% CO_2 .

Tabel 1. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O_2 -concentraties; temp. 10°C; r.v. > 97%.

conditie		% groei	% kleurachteruitgang	% open hoeden
% CO_2	% O_2	H1 + H2	H1 + H2	H1 + H2
0	1	18,9 a	41,4 a	9,0 a
0	5	30,1 ab	52,3 a	45,2 c
0	10	40,4 b	49,1 a	31,2 b
0	21	37,8 b	53,6 a	41,5 c
LSD-waarde ¹⁾		11,52	17,2	6,97

H1 + H2 = het gemiddelde van twee herkomsten (zie bijlage 8).

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend.

Bij geen van de drie kwaliteitskenmerken in tabel 1 is de interactie "conditie * herkomst" significant. Afzonderlijk vertonen de condities en/of herkomsten wel verschillen.

Groei: 1% O_2 blijkt minder groei te veroorzaken dan 10% of 21% O_2 . Het verschil tussen 1% of 5% O_2 is niet significant. Herkomst 1 geeft minder groei dan herkomst 2 (bijlage 8A & B).

Kleur: De kleurachteruitgang wordt alleen beïnvloed door de herkomst. Herkomst 2 geeft minder bruinverkleuring dan herkomst 1. Het O_2 -gehalte heeft geen invloed op de achteruitgang van de kleur.

Open hoeden: 1% O_2 geeft de minste open hoeden, gevolgd door 10% O_2 . Tussen 5 en 21% O_2 bestaat echter geen aantoonbaar verschil. De beide herkomsten vertonen ook geen verschil in het percentage open hoeden.

¹⁾ LSD - "Least Significant Difference"-waarde

Proef 2

In tabel 2 wordt de groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden weer-
gegeven van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende CO₂-concentraties.

Tabel 2: Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons
na 5 dagen bewaren bij verschillende CO₂-concentraties en 1% O₂; temp.
10°C en r.v. > 97%. Per herkomst de extra conditie: 0% CO₂ + 3% O₂.

conditie		% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
% CO ₂	% O ₂	H1	H2	H1	H2	H1	H2
0	- 1	29,5 efg	26,7 def	55,0 defg	36,7 a	2,5 ab	16,3 bcd
1	- 1	30,6 efgh	25,3 def	58,3 efg	46,7 abcd	11,3 abcd	25,0 d
3	- 1	16,7 abcd	20,6 cdef	53,3 cdef	38,3 a	3,7 abc	6,3 abc
5	- 1	19,0 bcd	21,2 def	61,7 fg	40,0 ab	0,5 a	3,0 ab
7	- 1	7,6 ab	7,9 abc	58,3 efg	43,3 abc	0,0 a	3,7 abc
10	- 1	5,3 a	7,8 b	65,0 g	40,0 ab	0,0 a	0,0 a
0	- 21	39,9 gh	42,0 gh	46,7 abcd	43,3 abc	18,8 cd	23,7 d
0	- 3	42,3 h	33,2 fgh	50,0 bcde	53,3 cde	13,8 abcd	42,5 e
LSD-waarde ¹⁾		12,7		11,18		14,99	

H1 en H2 herkomsten

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend.

In deze proef is de interactie "herkomst * conditie" significant. Dit betekent
dat de herkomsten duidelijk verschillend reageren op de gehandhaafde
CA-condities.

Groei: 7 en 10% CO₂ remmen de groei het meest, gevolgd door 5 en 3% CO₂. 1% O₂
(bij 0% CO₂) remt de groei in vergelijking met 3 en 21% O₂ (H1 resp. H2).

Kleur: Bij herkomst 1 geeft de controle iets minder bruinverkleuring dan 1, 5, 7
en 10% CO₂ (+ 1% O₂). Bij herkomst 2 is geen verschil aantoonbaar tussen de
controle en de CA-condities. Bij beide herkomsten is geen aantoonbaar verschil
tussen 3% en 21% O₂ (+ 0% CO₂).

De kleurachteruitgang van herkomst 1 is sterker dan van herkomst 2.

Open hoeden: Er is een duidelijke tendens, dat bij een toenemend CO₂-gehalte het
percentage open hoeden afneemt.

Proef 3

In de tabellen 3 en 4 worden de groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden vermeld van champignons na bewaren bij 7% CO₂ en verschillende O₂-concentraties gedurende 5 resp. 9 dagen.

Tabel 3: Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O₂-concentraties en 7% CO₂; temp. 10°C en r.v. > 97%.

conditie		% groei		% kleurachteruitgang	% open hoeden
% CO ₂	% O ₂	H1	H2	H1 + H2	H1 + H2
7	- 1	5,5 a	8,1 abc	49,0 c	0,6 a
7	- 3	8,6 abc	11,9 cd	51,0 c	0 a
7	- 5	8,9 abc	10,0 bc	43,3 b	0,6 a
7	- 10	5,5 a	7,8 ab	42,7 ab	0 a
7	- 14	14,6 d	11,3 bcd	43,3 b	3,9 b
0	- 21	30,5 e	34,1 e	37,7 a	6,2 b
LSD-waarde ¹⁾		3,93		5,39	

H1 en H2 zijn herkomsten.

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend.

Groei: Tabel 3 toont aan dat verhoging van het O₂-gehalte van 1 tot 10%, in combinatie met 7% CO₂, geen invloed heeft op de groei. 14% O₂ (met 7% CO₂) geeft iets meer groei bij herkomst 1, terwijl de controle (0% CO₂ + 21% O₂) duidelijk een veel sterkere groei veroorzaakt. Herkomst 1 geeft minder groei dan herkomst 2 (bijlage 10A & B).

Kleur: De interactie herkomst * conditie is niet significant, maar de condities zijn wel verschillend. De controle verschilt niet significant van 10% O₂, maar geeft wel minder kleurachteruitgang dan de andere condities. Herkomst 1 geeft minder bruinverkleuring dan herkomst 2.

Open hoeden: Hierop kon geen LSD-toets worden uitgevoerd vanwege het geringe aantal open hoeden. Een X²-toets toonde aan dat 7% O₂ en de controle de meeste open hoeden gaven.

Tabel 4: Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 9 dagen bewaren bij verschillende O₂-percentages en 7% CO₂; temp. 10°C en r.v. > 97%

conditie		% groei	% kleurachteruitgang	% open hoeden
% CO ₂	% O ₂	H1 + H2	H1 + H2	H1 + H2
7	- 1	10,2 a	57,7 ab	0 a
7	- 3	11,5 a	58,4 ab	1,9 a
7	- 5	10,8 a	53,4 a	0,6 a
7	- 10	8,7 a	55,4 ab	1,2 a
7	- 14	13,9 a	54,0 a	12,5 b
0	- 21	36,0 b	59,7 b	21,2 b
LSD-waarde ¹⁾		8,01	5,39	

H1 + H2 = het gemiddelde van twee herkomsten (zie bijlage 10).

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend.

Tabel 4 laat zien dat na 9 dagen de condities significante verschillen geven. Ook de herkomsten vertonen verschillen (bijlage 10C & D). De interactie "conditie * herkomst" geeft geen significante verschillen meer voor één van de drie kwaliteitskenmerken.

Groei: Er is geen verschil tussen de verschillende O₂-percentages in combinatie met 7% CO₂. De controle geeft duidelijk meer groei. Herkomst 1 geeft minder groei dan herkomst 2.

Kleur: Er is geen verschil tussen de condities. Alleen herkomst 1 geeft minder bruinverkleuring dan herkomst 2.

Open hoeden: Ook hier is geen LSD-toets mogelijk. Na 9 dagen blijkt evenals na 5 dagen bewaren, dat de controle en 7% CO₂ + 14% O₂ meer open hoeden geven dan de lagere O₂-percentages + 7% CO₂.

Conclusies

Sensoriek: CA-bewaring geeft geen afwijkingen wat betreft smaak of consistentie van de champignons. Het blijkt echter ook geen voordeel te bieden t.o.v. bewaring onder normale luchtcondities. De ingangskwaliteit en daarom ook de herkomsten lijken veel invloed te hebben op de uiteindelijke kwaliteit na bewaring.

Groei: Door verlaging van het O₂-gehalte tot 1% O₂ bij 0% CO₂ wordt de groei geremd. In combinatie met 7% CO₂ geeft verlaging van het O₂-gehalte geen extra groeiremming.

Verhoging van het CO₂-gehalte tot 7 à 10% CO₂ remt de groei sterk. De belangrijkste remmende invloed op de groei wordt dus bereikt met verhoging van de CO₂-concentratie.

Kleur: 10-15% CO₂ is te hoog i.v.m. optredende bruinverkleuring.

Uit alle proeven blijkt dat de kleurachteruitgang niet of niet sterk werd beïnvloed door de CA-condities.

De kleurachteruitgang is wel afhankelijk van de herkomst.

Open hoeden: Het opengaan van de hoeden werd zowel geremd door O₂-verlaging (bij 0% CO₂) als door CO₂-verhoging (bij 1% O₂). De combinatie 7% CO₂ - 1% O₂ geeft minder open hoeden dan 0% CO₂ - 1% O₂ of 7% CO₂ - 14% O₂.

CA-bewaring heeft dus alleen invloed op de kwaliteitsaspecten: groei en opengaan van de hoeden.

Bewaring van champignons bij 7-10% CO₂ geeft het minste kwaliteitsverlies. Het is veilig om 7% CO₂ aan te houden (schade door een te hoog CO₂-gehalte wordt dan in ieder geval vermeden).

Het percentage O₂ is, in combinatie met 7% CO₂, niet zo belangrijk, zolang dit niet beneden 1% en niet boven de 10% uitkomt.

Als conditie in de kleinverpakking van champignons zou 7% CO₂ + ca. 5% O₂ dus gunstig zijn.

5.2. Algemeen. materiaal en methoden folie-onderzoek

Via het Sprenger Instituut en andere relaties van het IvV-TNO zijn de volgende materialen bij het onderzoek betrokken:

- PVC-rekfolie "Resinite". type Auto RMFA, partij 4921, rol 172, opgegeven dikte 16 µm. Het materiaal was geleverd door Borden.
- Bunzl HPF 25 en HPF 50 materiaal, geleverd door Bunzl Flexpack Ltd, Engeland.
- KLF 25 en KLF 50 materiaal, geleverd door Keys UK Ltd (Van Leer).

Het sterke vermoeden bestaat, dat

- materiaal HPF 25 gelijk is aan KLF 25, en
- materiaal HPF 50 gelijk is aan KLF 50.

Volgens informatie van de leveranciers mogen deze materialen niet beschouwd worden als gerede materialen. In tegendeel, het betreft prototype materialen die nog volop in ontwikkeling zijn.

Navraag bij andere relaties, fabrikanten en leveranciers van flexibele verpakingsmaterialen, leverden geen geschikte materialen op. Gedacht is nog even aan de toepassing van Tyvek (van Du Pont) of Valflora (van Van Leer). Deze materialen zijn echter poreus en hebben derhalve geen selectieve doorlatendheid voor gassen. Om deze reden zijn deze materialen niet bij het onderzoek betrokken geweest.

De gasdoorlatendheden zijn gemeten volgens IvV-methode 3.12. Voor hoge gasdoorlatendheden is de methode, die in bijlage 6 beschreven staat, toegepast. De waterdampdoorlatendheid is bepaald volgens IvV-methode 3.2.

5.2.1. Doorlatendheden

Zie de tabellen 5, 6 en 7, bijlage 11.

De doorlatendheden bij vochtige condities zijn gemeten door de materialen vooraf gedurende 1 dag op te slaan tussen vellen filtreerpapier, die met water waren doordrenkt. Daarna werden de gasdoorlatendheden gemeten met gassen met ca. 100% r.v.

Bij HPF en KLF materialen worden de gasdoorlatendheden door water niet beïnvloed. Bij Resinite wordt een verlaging van de gasdoorlatendheden gemeten.

De waterdampdoorlatendheid van het materiaal Resinite kan om technische redenen niet gemeten worden volgens de gebruikelijke methode.

Opmerking:

Materialen waarvan de doorlatendheden niet beïnvloed worden door vocht, genieten de voorkeur i.v.m. de te verwachten stabiliteit van de doorlatendheden onder praktijkomstandigheden.

5.2.2. Heatsealbaarheid

Resinite is, als gevolg van zijn krimp bij verhitting en de geringe dikte, praktisch niet heatsealbaar. De andere materialen zijn wel heatsealbaar, doch wel met enkele beperkingen:

- De materialen zijn alleen op zichzelf heatsealbaar. Het materiaal last niet op andere materialen, zoals polyetheen, polystyreen, PVC, enz.
- Op de ontvangen materialen zijn plaatsen gevonden, waar het materiaal beslist niet te lassen was. Vermoedelijk is op het materiaal een (kwalitatief slechte) heatseal-lak aangebracht.

5.2.3. Transparantheid

Alle materialen zijn helder doorzichtig. De doorzichtigheid van de KLF en HPF materialen wordt echter tijdens de opslagexperimenten verstoord door druppels gecondenseerde waterdamp. M.b.t. deze eigenschap schieten deze materialen tekort t.a.v. de te stellen eisen.

5.3. Inventarisatie van de gascondities in de huidige champignonverpakkingen Inleiding

Tijdens het onderzoek naar het kleinverpakkingsmodel voor champignons is de vraag gerezen hoe de gasconditie is in de huidige verpakkingen en of de veronderstelling juist is, dat de huidige verpakkingen vaak "lek" zijn (door beschadiging van de folie of door het niet goed gesloten zijn ervan).

Om bovengenoemde vragen te onderzoeken is een inventarisatie gemaakt. Hiertoe bestonden 2 mogelijkheden: de bakjes champignons in een winkel kopen of ze van een veiling betrekken. Het voordeel van champignons uit de winkel is, dat de

verpakkingen alle mogelijke handelingen hebben ondergaan waardoor lekkage kan optreden. Hierdoor wordt een goed beeld verkregen van de "lektheid" van de verpakkingen. Nadeel is echter, dat niets bekend is over de herkomst van de champignons (niet mogelijk om meerdere herkomsten te vergelijken), over het moment van verpakken (er kan niet worden nagegaan na hoeveel tijd het evenwicht is bereikt van CO_2 en O_2) of over de temperatuur waaraan de champignons zijn blootgesteld.

Om deze nadelen te vermijden is gekozen voor een inventarisatie op de veiling, waarbij champignons van 3 herkomsten zijn verpakt en vervolgens zijn bewaard bij 10°C . Er kon slechts één beschadigingsoorzaak worden nagebootst: het wegzetten van de bakjes in de trays en het er weer uithalen. De controlepartij om te kunnen vergelijken, bestond uit direct van de verpakkingen genomen bakjes.

Resultaten (zie ook bijlage 12)

- Het CO_2 -gehalte in de verpakking ligt over het algemeen tussen de 5 en 10%. In enkele gevallen is het hoger (boven 10% kon niet worden gemeten).
- Het O_2 -gehalte is vrijwel steeds aan de hoge kant, veelal boven de 10%.
- De evenwichtstoestand in de gasconditie binnen de verpakking wordt meestal binnen 25 uur bereikt, in enkele gevallen al na 8 uur.
- Van de 30 bakjes bleken er 3 lek te zijn, waarvan 2 die na het sealen direct van de band waren genomen. Lekkage van de verpakking is meestal niet te wijten aan het niet goed dichtsealen, maar treedt op door beschadiging van de folie op de hoeken van de bakjes, mogelijk veroorzaakt door de scherpe randen.

Conclusie

De gasconditie in de huidige kleinverpakkingen van champignons is wat het CO_2 -gehalte betreft vrij goed, het O_2 -gehalte zou echter wat lager moeten zijn. De bereikte gascondities in de verpakkingen zijn niet uniform.

Het percentage lekke bakjes bleef beperkt tot 10%. Of meer lekkage zal optreden bij het overpakken in de winkels is niet bekend, maar het is wel waarschijnlijk. Hoe vaker de bakjes uit de ene tray worden overgezet in de andere, hoe groter de kans is dat de folie wordt beschadigd.

Opgemerkt moet worden dat slechts kleinverpakte champignons van één veiling, dus van één verpakkingstation, zijn beoordeeld. Het is niet bekend of deze kleinverpakte champignons representatief zijn voor alle kleinverpakte champignons in Nederland.

5.4. Conclusies/discussie gegevensonderzoek

5.4.1. Produkt

Voor de ontwikkeling van MA-kleinverpakkingen voor de groente- en fruitsector zijn van produktzijde de volgende gegevens nodig: de ademhalingsactiviteit (a.a.) onder normale luchtcondities, de relatieve ademhalingsactiviteit (r.a.) onder van de buitenlucht afwijkende mengverhoudingen voor zuurstof en koolzuur en de gewenste mengverhouding van deze gassen om binnen het temperatuurgebied, dat voorkomt in de afzetketen, hetzij kwaliteitsvoordeel, hetzij houdbaarheidsverlenging voor het produkt te bereiken.

De ademhalingsactiviteit (a.a.) als functie van de temperatuur is voor een groot aantal produkten wel bekend (zie o.m. de Produktgegevens voor Groente en Fruit;

mededeling nr. 30 van het Sprenger Instituut). Gegevens betreffende de relatieve ademhalingsactiviteit (r.a.) zijn nauwelijks voorhanden en zullen van ieder produkt voor dit doel nog moeten worden vastgesteld. Voor champignons is de vaststelling grof uitgevoerd in het temperatuurgebied $10 \pm 5^\circ\text{C}$.

Wat betreft de beste mengverhouding van de gassen zijn voor veel produkten de optimale condities wel bekend bij de (lage) opslagtemperatuur maar niet bij de (hogere) temperaturen in de distributieketen. Bovendien zijn er talloze produkten, die op CA-condities niet of slecht reageren. De vraag doet zich voor of de aanbevolen CA-condities bij de lage temperatuur ook kunnen gelden voor de hoge temperatuur. Deze vraag kan niet beantwoord worden aan de hand van dit onderzoek aangezien het modelprodukt champignon in de praktijk bij de lage temperatuur $0-1^\circ\text{C}$ wordt opgeslagen, maar nooit onder CA-omstandigheden.

De verwachting is aan de hand van onderzoeksgegevens van andere produkten, zoals paprika, dat dit wel kan mits bij de lage temperatuur geen te extreme lage zuurstofgehalten (ca. 1% O_2) of te hoge CO_2 -gehalten ($> 6\%$ CO_2) worden aanbevolen. Uit het onderzoek aan de champignon bij 10°C volgt, dat bij aanwezigheid van CO_2 het zuurstofgehalte zich mag bewegen in het gebied 1% tot 10% O_2 en dat dit gehalte binnen dat gebied niet kritisch is ten aanzien van de achteruitgang in kwaliteit.

Het koolzuurgehalte is sterk van invloed op enkele uiterlijke kwaliteitskenmerken en dient zich te bewegen in het gebied 7% - 10% CO_2 . Daarboven is er gevaar voor koolzuurbederf en neemt de verkleuring toe. De sensorische eigenschappen van de champignon verder, zijn ongevoelig voor het wel of niet toepassen van een "modified atmosphere".

Door het onderdrukken van de achteruitgang van enkele van de uiterlijke kwaliteitskenmerken is er in principe sprake van een verlenging van de houdbaarheid. Echter omdat het niet geldt voor alle kenmerken, met name niet voor de verkleuring, is het effect op de houdbaarheid uiteindelijk marginaal (orde van grootte ca. 1 dag).

5.4.2. Verpakkingsmateriaal

Voor produkten met een relatief hoge ademhalingsactiviteit is een hoog (selectief) doorlatendheidsniveau voor de verpakking vereist. Het is gebleken dat slechts enkele foliematerialen op de markt beschikbaar zijn die aan de doorlatendheidseisen zouden kunnen voldoen.

Deze materialen kennen echter nog een aantal beperkingen m.b.t. de toepassing in de praktijk zoals;

- laseigenschappen, m.n. het lassen op ander polymere materialen,
- vorming van condensdruppeltjes tegen de binnenzijde van de verpakking, waardoor de presentatiewaarde van het produkt afneemt.

Toepassing van PVC rekwikkelfolie (Resinite) moet voor de CA-verpakking worden ontraden vanwege de invloed van vocht en de wijze van rekken/wikkelen op de O_2 - en CO_2 -doorlatendheid waardoor de gewenste atmosfeer binnen de verpakking niet reguleerbaar is.

6. VERIFICATIE VAN HET REKENMODEL

Inleiding

Het ontwikkelde rekenmodel is aan de hand van opslagproeven met champignons getoetst. Champignons zijn gekozen omdat deze het gehele jaar beschikbaar zijn. De opslagproeven werden uitgevoerd met glazen en kunststof bakjes waarop diverse folies konden worden bevestigd. Deze bakjes werden opgeslagen bij 10°C in een klimaatkast met geforceerde ventilatie. De proefresultaten zijn te vinden in de bijlagen 13 en 14.

6.1. Verificatieresultaat

6.1.1.

De eerste opslagproef is verricht met glazen bakjes van 500 ml, die waren afgedekt met HPF 25 of HPF 50. Deze bakjes, en ook de bakjes van 640 ml, zijn vrij klein, zodat zij slechts enkele champignons kunnen bevatten (t.w. ca. 150 gr. resp. 250 gr). De gebruikte champignons vertoonden nogal forse onderlinge verschillen in grootte en uiterlijk (bijv. bruine vlekken). Mogelijk dat dezelfde champignons, gezien deze verschillen, ook verschilden t.o.v. de gemeten gemiddelde ademhalingsactiviteit.

De resultaten met de bakjes HPF 25 waren onbetrouwbaar als gevolg van onnauwkeurigheden in de methode en storingen. Bij het onderzoek met de bakjes HPF 50 is getracht deze onvolkomenheden zo goed mogelijk te elimineren.

De champignons waren van het ras "Agaricus Bisporus", klasse I, "middel"; zij waren betrokken van de veiling RBT te Breda.

De gemiddelde soortelijke massa van de champignons bedroeg 1100 kg/m³; relatief hoog. De gemiddelde a.a. bedroeg bij 10°C 830 l/(ton.24h); relatief laag. De gemeten gasconcentraties (zie bijlage 13, tabel 8) staan tevens opgetekend bij het berekende verloop van de gasconcentraties (zie bijlage 14, afb. 7). Het berekende verloop is echter vastgesteld m.b.v. de uit de literatuur afkomstige a.a. (= 1150 l/ (ton.24h). Hieruit kunnen de volgende voorlopige conclusies getrokken worden:

- Na ca. 6 uur opslag liggen de gemeten O₂-concentraties iets onder de berekende waarden. De CO₂-concentraties stemmen goed overeen.
- Na ca. 17 uur zijn de reeds waargenomen verschillen in O₂-concentraties groter geworden. De gemeten CO₂-concentraties vallen ook hier samen met de berekende concentraties.
- Na ca. 24 uur zijn de gemeten O₂- en CO₂-concentraties weer gelijk aan de berekende waarden.
- Na 48 uur liggen de gemeten O₂-concentraties iets onder de berekende waarden. De CO₂-concentraties liggen boven de berekende waarden.
- Wanneer via het model de concentratieverlopen berekend worden m.b.v. de lagere gemeten a.a., dan worden de verschillen met de gemeten waarden groter (zie afb. 8). Verschillen in a.a. tussen afzonderlijke champignons en een evt. verloop hiervan met de tijd of door mechanische belasting van de champignons kunnen die verschillen mede veroorzaakt hebben. De geringe hoeveelheid champignons per bakje kan in dit opzicht als een extra versturende factor worden aangemerkt.
- Een bezwaar van dit onderzoek is, dat per bakje slechts één gasmonster getrokken kan worden. De opéénvolgende waarnemingen in de grafiek behoren dus bij verschillende bakjes, met mogelijk verschillende a.a.'s.

6.1.2.

Gezien de zichtbare verschillen tussen de champignons onderling is de tweede opslagproef uitgevoerd met champignons *Agaricus Bisporus*, klasse I, "fijn"; afkomstig van de veiling Delft-Westerlee.

De resultaten van het champignon-onderzoek en de opslagproef staan vermeld in de tabellen 9 en 10 en de afbeeldingen 9 en 10.

De volgende voorlopige conclusies kunnen hieruit getrokken worden:

- In afb. 9 vallen de gemeten O_2 -concentraties samen met de berekende waarden. De gemeten CO_2 -concentraties zijn aanvankelijk lager en later nagenoeg gelijk aan de berekende concentraties.
- In afb. 10 liggen de gemeten O_2 - en CO_2 -concentraties evenals in afb. 7 en 8 beneden resp. boven de berekende waarden. Op grond hiervan wordt vermoed dat de r.a. bij 2% O_2 en ca. 8% CO_2 in werkelijkheid hoger ligt dan de matrix aangeeft.

Ook hier gelden dezelfde bezwaren betreffende de geringe aantallen champignons en de enkelvoudige metingen per bakje.

6.1.3.

Gezien de laatstgenoemde bezwaren is de derde serie opslagproeven uitgevoerd met grotere bakjes, met meer champignons en een groter luchtvolume. Meerdere metingen per verpakkingen werden hierdoor mogelijk. Ook hier werden champignons van het ras *Agaricus Bisporus*, klasse I "fijn", gebruikt. Deze champignons waren via het Sprenger Instituut rechtstreeks van de teler betrokken en werden verpakt/opgeslagen in 2 verschillende kunststof bakjes + folie, t.w.:

- de huidige blauwe polystyreen bakjes (standaard) met het gebruikelijke PVC rekfolie Resinite:
- witte polystyreen bakjes, afgedekt met Bunzl HPF 25 folie (alternatief). Deze folie was d.m.v. lijm op de bakjes bevestigd.

Afmetingen standaard:

boven l x b : 122 x 105 mm
onder l x b : 112 x 95 mm
hoogte : 60 mm
inhoud : ca. 730 ml
omwikkeld opp.: ca. 500 cm²

Afmetingen alternatief:

boven l x b : 170 x 125 mm
onder l x b : 155 x 110 mm
hoogte : 68 mm
inhoud : ca. 1200 ml
oppervlak : ca. 210 cm²

Opslagproeven werden uitgevoerd met de volgende verpakkingen:

- A - standaard bakje gevuld door teler (4 stuks)
- B - standaard bakje gevuld met champignons door SI, waarvan SI lengte en aantal open hoeden heeft bepaald (4 stuks)
- C - alternatief bakje gevuld met champignons door TNO (3 stuks)
- D - alternatief bakje gevuld met champignons door TNO waarvan SI lengte en aantal open hoeden heeft bepaald (4 stuks).

De bakjes werden 5 dagen opgeslagen bij 10°C waarna O_2 - en CO_2 -concentraties bepaald werden. Van de bakjes D werden ook na ca. 1 en 2 dagen de O_2 - en CO_2 -

concentraties bepaald. Het Sprenger Instituut bepaalde na opslag de groei en aantal open hoeden (alleen B en D).

Voorafgaand aan de opslagperiode werd van de champignons de a.a. bepaald. Na de opslagperiode werd de a.a. van de champignons uit de bakjes A, C en D wederom bepaald. De resultaten staan vermeld in de tabellen 11 en 12 en in de afbeeldingen 11 en 12. Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Volgens tabel 11 neemt de a.a. toe met de tijd en door manipulaties met de champignons.
- Uit afb. 11 en 12 volgt dat het computermodel beter voldoet bij een hoge a.a. dan bij een lage; de hoge O_2 -concentraties beter overeenstemmen dan de lage O_2 -concentraties.
- Uit de O_2 -concentratie tijdens de evenwichtssituatie kunnen de a.a. bij die omstandigheden en de r.a. (t.o.v. 21% O_2 en 0% CO_2) berekend worden. Deze rekenresultaten staan vermeld in tabel 13. Hieruit volgen hogere r.a.'s dan de r.a.-matrix opgeeft.
- De O_2 -concentraties in de evenwichtstoestand zijn bij alle bakjes lager dan de vermoedelijke optimale bewaaratmosfeer, t.w. 5% O_2 (niet kritisch in het gebied 1-10%) en 7-10% CO_2 . De verpakkingen moeten hogere gasdoorlatendheden hebben om deze atmosfeer te kunnen realiseren.

Het produktonderzoek, door het Sprenger Instituut verricht aan de champignons uit de verpakkingen, resulteerde o.a. in de conclusie, dat de alternatieve verpakking geen duidelijke verbetering gaf en kon geven van de reeds toegepaste verpakking. Immers de gewenste gascondities worden in de toegepaste verpakkingen al reeds ten naaste bij bereikt.

Negatieve punten waren o.a. verschijnselen van onderdruk, condens en niet-voldoende geremde champignon-groei in de alternatieve verpakking. Deze produktinformatie is waardevol voor de uiteindelijke toepassing van MA-verpakkingen voor champignons. Voor de verificatie van het rekenmodel is deze informatie niet relevant.

6.1.4.

In de vierde opslagproef werden verpakkingen gebruikt, t.w. zakjes, met hogere gasdoorlatendheden. Helaas moest ook hier de hoeveelheid champignons beperkt blijven tot 200 g, dus iets onder de gebruikelijke hoeveelheid van 250 g. De bedoeling was dat binnen deze verpakkingen een optimaal bewaarklimaat zou worden gerealiseerd van 5% O_2 en 7% CO_2 . Dit bleek i.v.m. de verhouding verpakkingsoppervlak-inhoud, de verschillende gasdoorlatendheden en de beperkte afmetingen van het beschikbare monstermateriaal (KLF 50), niet geheel mogelijk te zijn. Reeds tijdens het maken van de proefzakjes werden problemen bij het lassen van het verpakkingsmateriaal ervaren, t.w. lekken. Deze lekken zijn vermoedelijk veroorzaakt door niet of slecht lasbare delen van het materiaaloppervlak. Hierdoor mislukte de eerste serie proeven. Een tweede serie proeven werd toen gestart met dezelfde champignons, die toen al 3 dagen opgeslagen waren geweest bij 5°C.

De a.a. van deze champignons bij 10°C bedroeg op dat moment 1125 l/(ton.24h). De resultaten van deze proeven staan vermeld in de tabellen 14 en 15 resp. afb. 13. Binnen de zakjes werd een zeer sterke condensvorming waargenomen. Na ca. 5 dagen opslag vertoonden de champignons sterke verkleuring. Door de sterke condensvorming verzamelde zich water langs de lassen en, zoals toen zichtbaar werd, ook in enkele kleine lekken in de lassen. Ondanks extra zorg bleken deze lekken toch nog aanwezig te zijn.

Uit deze waarnemingen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Gedurende de eerste dag volgen de gemeten O_2 - en CO_2 -concentraties de berekende waarden.
- De CO_2 -concentraties blijven daarna het berekende verloop volgen.
- Na 2 dagen zijn de O_2 -concentraties duidelijk hoger dan de berekende waarden.
- Mogelijke oorzaken voor deze afwijkingen zijn de lekken in de verpakkingen, die mede kunnen zijn ontstaan als gevolg van de manipulaties met de zakken tijdens de dagelijkse gasanalyses.

Mede gezien de spreiding tussen de afzonderlijke waarnemingen en de ervaren problemen, werd besloten tot een vijfde opslagproef.

6.1.5.

In overleg met het Sprenger Instituut werd besloten 2 series opslagproeven, verdeeld over twee weken, uit te voeren bij $10^\circ C$. Per serie werden 5 O_2 en CO_2 metingen (aan 4 bakjes) uitgevoerd.

Voorafgaand aan de opslag werd van de champignons de ademhalingsactiviteit bij 21% O_2 - 0% CO_2 bepaald. Voor de proeven werd gebruik gemaakt van glazen cylinders die aan beide zijden waren afgesloten met Van Leers KLF 25 folie (opp. ca. 170 cm^2). De bakjes waren afgevuld met ca. 230 g champignons (rest lucht ca. 525 ml).

De bedoeling was dat de opslagproeven elkaar, wat opslagduur betreft, zouden aanvullen zodat als de a.a. van beide gelijk was één grafiek samengesteld kon worden.

Bij de eerste serie zijn enkele bakjes afgefallen wegens lekkage, in de tweede serie wegens grote steelgroei van de champignons waardoor de folie scheurde. Hierdoor zijn aan enkele bakjes 2 metingen uitgevoerd. Bij de tweede serie is van enkele bakjes onder de heersende CA-condities de a.a. bepaald. Deze gemeten a.a.'s zijn m.b.v. de r.a. omgerekend naar een a.a. bij 21% zuurstof en 0% koolzuur.

In de tabellen 16 en 18 staat de gemeten a.a. voorafgaand aan de opslagproeven. De a.a. is bepaald aan verschillende bakjes.

In de tabellen 17 en 19 en afbeeldingen 14a en b en 15a en b staan de resultaten van de opslagproeven. Het berekende concentratieverloop is voor verschillende a.a.'s uitgezet.

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De resultaten van beide series zijn dermate verschillend dat ze niet bij elkaar gevoegd kunnen worden.
- Uit de afbeeldingen 14a en 14b blijkt dat voor een hogere a.a. de gemeten waarden beter benaderd worden.
- Uit afb. 14b volgt dat het computermodel de koolzuurconcentratie goed voorspelt in de evenwichtssituatie, de zuurstofconcentratie echter te hoog wordt berekend.
- Uit afb. 15a volgt dat het computermodel redelijk de koolzuurconcentratie voorspelt, de zuurstofconcentratie echter te laag wordt berekend.
- De berekende a.a.'s uit de CA-condities variëren sterk, en zijn over het algemeen lager dan de begin a.a. Als gerekend wordt met een lagere a.a. zal de evenwichtconcentratie voor zuurstof hoger worden en voor koolzuur lager. Dit geeft voor zuurstof een betere en voor koolzuur een iets slechtere overeenstemming met de gemeten resultaten (zie afb. 15b).

De champignons uit de tweede serie waren betrokken daags na de carnavalsperiode in Breda. Het is mogelijk dat de champignons niet vers waren toen deze op de veiling arriveerden.

6.2. Discussie toepassing

Bij de verificatie van het rekenmodel is gebleken, dat het produkt champignons een zeer moeilijk te voorspellen produkt is. Met name de variatie in ademhalingsactiviteit, de mogelijke onnauwkeurigheid van de ademhalingsmatrix en de invloed van veroudering op de ademhalingsactiviteit blijken de voorspellingsnauwkeurigheid van de gassamenstelling binnen de verpakking te beïnvloeden. Desondanks blijkt het mogelijk het verloop van de O_2 - en de CO_2 -concentratie met een redelijke nauwkeurigheid te voorspellen.

Het verificatieonderzoek is bemoeilijkt door de beperkte beschikbaarheid van foliematerialen met een voldoende hoge doorlatendheid. Hierdoor was het niet mogelijk het rekenmodel aan de huidige verpakking (bakje met gangbare inhoudshoeveelheid, afgedekt met een selectief doorlatende folie) te toetsen.

Wanneer het resultaat van het (eenmalige) praktijkonderzoek naar de gassamenstelling binnen de huidige champignonverpakking in ogenschouw wordt genomen, dan mag worden verwacht dat toepassing van een zgn. MA-verpakking, d.w.z. een verpakking met de juiste doorlatendheid voor zuurstof, koolzuur en waterdamp, voor dit produkt geen duidelijke verbetering van de houdbaarheid zal betekenen. Dit neemt niet weg dat bij toepassing van een MA-verpakking en daarmee de mogelijkheid voor een betere beheersing van het verpakkingsproces (minder lekkage) in potentie een kwaliteitsverbetering bereikt kan worden. Immers de kwaliteit op de aspecten steelgroei en opening van de hoeden wordt gunstig beïnvloed door een CO_2 -gehalte van 7% of iets meer.

Naar verwachting kan het model eveneens voor andere produkten met een snelle afleving worden toegepast. Voorwaarde is echter dat de voor het model essentiële inputgegevens beschikbaar zijn. Dit betekent dat van het betreffende produkt de ademhalingsactiviteit bij 21% O_2 en 0% CO_2 (lucht), alsmede de ademhalingsactiviteit bij afnemende O_2 - en toenemende CO_2 -concentraties (relatieve ademhalingsactiviteit) en de optimale bewaaratmosfeer (T , $[O_2]$ en $[CO_2]$) bekend moeten zijn.

Ter completering van het onderzoek is verificatie van het ontwikkelde model aan een tweede produkt gewenst. Dit is echter vanwege het ontbreken van de benodigde produktgegevens, alsmede budgetaire beperkingen vooralsnog niet mogelijk.

7. SAMENVATTING/CONCLUSIES

Door het IvV-TNO en het Sprenger Instituut - DLO is in samenwerking een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid, die een MA (modified atmosphere) - kleinverpakking kan bieden voor het kwaliteitsbehoud cq. het verlengen van de houdbaarheid van bederfelijke groenten- en fruitprodukten in de distributieketen. Een kleinverpakking of consumentenverpakking kan, eenmaal samengesteld, gedurende de gehele afzetketen intact blijven en is om die reden aantrekkelijk voor het toepassen van de werkwijze, die bij langdurige opslag bekend staat als CA-bewaring (CA = controlled atmosphere). Er dient echter wel met hogere produkttemperaturen rekening te worden gehouden dan in een zuivere opslagomgeving het geval is.

De uitwerking van het onderzoek is toegespitst op het produkt champignon en zijn verpakking.

De opdracht voor het onderzoek ging uit van het Produktschap voor Groenten en Fruit. De begeleiding van het onderzoek is in handen geweest van een werkgroep onder voorzitterschap van het Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen in Nederland.

Tijdens het onderzoek zijn twee sporen gevolgd:

1. Er is een eerste vorm van een rekenmodel ontwikkeld voor het bepalen van de doorlatendheid van verpakkingsfolies voor zuurstof, koolzuur en waterdamp om bij een gegeven temperatuurbereik in de distributieketen en voor een gegeven produkt een gewenste gassamenstelling in de verpakking te laten ontstaan. Dit rekenmodel vereist als input de volgende produktgegevens:
 - a) de ademhalingsactiviteit (a.a.) in het temperatuurgebied in [l CO₂ of O₂/ton.24h] onder normale luchtomstandigheden (21% O₂; 0% O₂).
 - b) de relatieve ademhalingsactiviteit (r.a.) onder omstandigheden van een verhoogd koolzuurgehalte en een verlaagd zuurstofgehalte in [% van a.a.].De ademhalingsactiviteit als functie van de temperatuur is voor diverse produkten wel in de literatuur te vinden. Voor de relatieve ademhalingsactiviteit ligt dat veel moeilijker. Beide gegevens zijn in het rapport vastgelegd voor champignons voor het temperatuurgebied rond 10°C.
2. Voor het produkt champignon is verder nagegaan de invloed van de gassamenstelling van de atmosfeer rond het produkt op de kwaliteit en in het bijzonder op de houdbaarheid bij een produkttemperatuur van 10°C. Uit een dergelijk onderzoek volgt de gassamenstelling, die dan in een verpakking moet worden gerealiseerd.

In het onderzoek zijn verificatieproeven opgenomen, waarbij het rekenresultaat gebaseerd op de gemeten produktgegevens en op de gemeten gasdoorlatendheid van enkele commercieel verkrijgbare folies is vergeleken met de gassamenstelling zoals die ontstond in een proefverpakking. Tenslotte heeft bij één van de pakstations een inventarisatie plaatsgevonden van de gascondities in de kleinverpakkingen voor champignons.

- Het ontwikkelde rekenmodel is nog slechts beperkt toepasbaar omdat op grond van foliegegevens en produktgegevens wel de evenwichtsgassamenstelling in een verpakking kan worden berekend; echter niet de weg terug. D.w.z. dat uit een gewenste samenstelling alsmede de produktgegevens niet de vereiste doorlaateigenschappen van de verpakkingsfolie bekend worden.
- Uit de verificatie blijkt, dat het rekenmodel de evenwichtsgassamenstelling in een verpakking met champignons redelijk nauwkeurig voorspelt; het CO₂-gehalte beter dan het O₂-gehalte. Dit is verklaarbaar omdat een gevoeligheidsanalyse van het rekenmodel aangeeft, dat het te bereiken zuurstofgehalte gevoeliger is voor een in het model ingevoerde, van de realiteit afwijkende, ademhalingsactiviteit dan het te bereiken koolzuurgehalte. Zo heeft een afwijking naar boven minder effect op het eindresultaat dan een afwijking naar beneden.
- De champignon blijkt een produkt te zijn, dat moeilijk voorspellingen toelaat, omdat er een grote spreiding is in ademhalingsactiviteit en houdbaarheid; voornamelijk toe te schrijven aan herkomstverschillen. Dit verschijnsel is niet specifiek voor de champignon. Veel tuinbouwprodukten vertonen een dergelijke spreiding.
- De gasatmosfeer, die rond 10°C remmend werkt op de teruggang van de kwaliteit na de oogst vraagt een CO₂-gehalte, 7% - ≤ 10%, en een zuurstofgehalte tussen 1% en 10%, waarbij het zuurstofgehalte niet kritisch is. De invloed van deze gasatmosfeer uit zich in een beperking van het aantal opengaande hoeden van de champignons in de verpakking en in een vertraging van de lengtegroei van de stelen. Dit heeft ook het voordeel, dat de voetjes en hoeden van de champignons minder snel in contact komen met de folie van de verpakking en daarmee vermindert de kans op het optreden van smet. Kleur en smaak van de champignons worden door de MA-omstandigheden in de verpakking niet beïnvloed.

Omdat de kleur belangrijk is als kwaliteitskenmerk, betekent dit, dat ondanks een kwaliteitsverbetering op andere aspecten, er niet of nauwelijks sprake is van een verlenging van de houdbaarheid door toepassing van een MA-verpakking.

- De champignon vertoont in relatie tot andere produkten een hoge ademhalingsactiviteit. Voor een dergelijk produkt is het dan noodzakelijk om folies toe te passen met een hoog doorlatendheidsniveau voor de betrokken gassen. Er zijn op de markt slechts enkele foliematerialen beschikbaar met een voldoende hoge doorlatendheid. Deze materialen kennen echter nog een aantal beperkingen voor toepassing in de praktijk; beperkingen zoals slechte laseigenschappen of gevoeligheid voor condensvorming aan de binnenzijde van de folie. Het laatstgenoemde probleem geeft de verpakking een slechte presentatiewaarde en kan ook schadelijk zijn voor het produkt.
- De inventarisatie van de reeds in gebruik zijnde MA-verpakkingen voor champignons laat zien dat de reeds genoemde gasatmosfeer in die verpakkingen ten naaste bij wordt gehaald. Het zuurstofgehalte is wel vaak aan de hoge kant en lekke verpakkingen komen voor (ca. 10%).
Hoofdoorzaak is niet de lasprocedure, maar beschadiging van de folie op de hoeken van de bakjes.

Samenvattend kan worden geconcludeerd, dat een MA-verpakking perspectieven biedt voor kwaliteitsverbetering, maar dat voor champignons er geen verlenging van de houdbaarheid mee kan worden bereikt.

Wageningen, 4 oktober 1988
jwr/ak

BIJLAGE 1

Bepaling van de ademhalingsactiviteit (a.a.)

Sprenger Instituut

De ademhalingsactiviteit van produkten als functie van de temperatuur onder normale buitenlucht omstandigheden (21% O₂, 0% CO₂) of onder CA-omstandigheden wordt meestal bepaald door het meten van de zuurstofafname en de koolzuurtoename in gesloten vaten met produkt tegen de tijd. Om de gegevens te verkrijgen bij de verschillende gasmengsels wordt gemeten over een beperkt gebied van daling of stijging van ca. 1 à 2% en wordt de luchtsamenstelling in het vat van te voren door de insputting van koolzuur en/of stikstof cq. het doorspoelen met een menggas, in de buurt van de gewenste koolzuur- en zuurstofgehalten gebracht. De gesloten vaten zijn opgesteld in thermostaatbaden voor het handhaven van de temperatuur waarbij de metingen zullen plaatsvinden. Het produkt wordt voor de aanvang van de meting nagenoeg op dezelfde temperatuur gebracht en na inbreng wordt gewacht op temperatuuregalisatie.

Voor het constateren daarvan dient een temperatuurvoeler in nauw contact met het produkt. Pas na de temperatuuregalisatie wordt de luchtsamenstelling in het vat gewijzigd als bovengenoemd en tussen het aanbrengen van deze wijziging en de aanvang van de meting wordt een periode van enkele uren aangehouden om de aanpassing van de ademhalingsintensiteit aan de gewijzigde omstandigheden te laten plaatsvinden. De vaten worden bij het ontstaan van drukverschillen met de buitenlucht voor de meting op barometerdruk gebracht door de inbreng van stikstof bij onderdruk of door het laten afvloeien van gasmengsel bij overdruk.

Voor champignons is gewerkt met vaten van ca. 70 liter inhoud en een produkt-massa van 8 tot 10 kg. De ademhalingsactiviteit volgt uit de meetgegevens met:

$$\text{a.a.} = \frac{V - V_p}{M_p} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t} \cdot 1440 \quad [1/\text{ton.24h}]$$

waarin: V	= volume van het vat	[m ³]
V _p	= volume van het produkt	[m ³]
M _p	= massa van het produkt	[kg]
ΔC	= toename CO ₂ ; resp. afname O ₂	[%]
Δt	= meettijd	[min.]

Gegevens over de ademhalingsactiviteit van produkten onder normale atmosferische omstandigheden zijn verspreid in de literatuur te vinden. Gegevens over de ademhalingsactiviteit van produkten onder CA-omstandigheden zijn echter zeer schaars. Waar mogelijk worden de verkregen meetresultaten, wat betreft de orde van grootte, geverifieerd wanneer via calorimeterbepalingen de bij de temperatuur en gassamenstelling behorende warmteproduktie van het produkt bekend is. Uit de reactievergelijking van de oxidatie van glucose valt een conversiefactor af te leiden, waarmee de zuurstofconsumptie en de koolzuurproduktie uit de warmteproduktie kunnen worden berekend [lit.].

[lit.] Rudolphij, J.W.; W. Verbeek; F.H. Fockens. - Measuring Heatproduction of Respiring Produce under normal and CA-storage conditions with an adiabatic calorimeter.

Lebensm.-Wissenschaft und Technologie 10:153-158 (1977).

BIJLAGE 2

Bepaling van de relatieve ademhalingsactiviteit (r.a.)

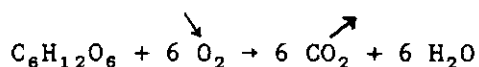
Sprenger Instituut

Omdat produkten ook in het ademhalingsgedrag herkomstverschillen vertonen wordt een meting van de geremde ademhalingsactiviteit van een partij onder CA-omstandigheden voorafgegaan door een meting van de ademhalingsactiviteit van die partij onder normale atmosferische omstandigheden.

Door de ademhalingsactiviteit onder CA-omstandigheden daarna uit te drukken in procenten van de ademhalingsactiviteit onder normale atmosferische omstandigheden wordt een zekere normering bereikt.

De metingen van de ademhalingsactiviteit zelf geschieden volgens de methode omschreven in bijlage 1.

Hoewel in principe de relatieve ademhalingsactiviteit als functie van zuurstof-koolzuurgehalte-combinaties bij iedere temperatuur zowel voor de zuurstof als voor de koolzuur afzonderlijk zou moeten worden opgegeven, doet zich de gelukkige omstandigheid voor, dat de verhouding tussen de volumehoeveelheid opgenomen zuurstof en de volumehoeveelheid afgegeven koolzuur ca. 1 is (0,7 à 1,2). Deze waarde volgt ook uit de reactievergelijking van de oxydatie van glucose.



Om die reden kan met één r.a.-waarde per gassamenstelling worden volstaan. Een volgende reductie van het aantal te bepalen en in een rekenprogramma in te voeren gegevens zou optreden als de r.a.-verhoudingen zich niet wijzigen als functie van de temperatuur. Over champignons valt op dit punt bij gebrek aan produktgegevens weinig te zeggen. Een bestudering van de aan de ademhalingsactiviteit gekoppelde warmteproduktie van een ander produkt dan champignons en onder CA-condities, zoals gegeven in de literatuur genoemd in bijlage 1, wijst echter niet in die richting.

BIJLAGE 3

Bepaling van de optimale opslagomstandigheden Sprenger Instituut

De bepaling van de optimale opslagomstandigheden voor CA-opslag van produkten is een continu lopend onderzoek in alle instellingen voor "post-harvest" onderzoek. Het produkt wordt daartoe opgeslagen in containers, waarbinnen de relevante klimaatfactoren zoals temperatuur, luchtvochtigheid, koolzuur- en zuurstofgehalte e.d. automatisch op peil worden gehouden door middel van hulpapparaten (luchtbevochtigers of drogers, koolzuurscrubbers, stikstofgeneratoren enz.). In feite wordt de kwaliteitsachteruitgang van het produkt geregistreerd als functie van de opslagtijd onder die gecontroleerde klimaatomstandigheden.

Een probleem voor het MA-verpakkingsonderzoek is, dat meestal als uitgangspunt voor de meetseries is gekozen voor de reeds langer bekende optimale opslagtemperatuur van de normale luchtgekoelde opslag. Juist in de distributieketen is het streven om de houdbaarheid van produkt te verlengen vooral bij hogere temperaturen dan de opslagtemperatuur. Over optimale CA-condities bij hogere temperaturen is helaas weinig te vinden in de literatuur.

BIJLAGE 4

Bepaling ademhalingsactiviteit (a.a.) IvV

De a.a. werd bepaald door de zuurstofafname van een hoeveelheid afgesloten champignons te bepalen. Hiertoe werd in een glazen fles met een volume V_o een hoeveelheid champignons (M) met een volume V_c gebracht. Tevens werd om de gevormde koolzuur te absorberen een kleine hoeveelheid natriumhydroxide toegevoegd. De NaOH werd verpakt in zakjes gemaakt van tyvek toegevoegd. De gevulde fles werd daarna enige tijd bij de betreffende temperatuur met lucht gespoeld. Hierna werd de fles gesloten en een bepaalde tijd bij dezelfde temperatuur opgeslagen. Na een bepaalde opslagtijd dt werd een gasmonster uit de fles genomen om m.b.v. een gaschromatograaf op zuurstofconcentratie (C_t) te worden geanalyseerd. De a.a. werd berekend uit de zuurstofafname per hoeveelheid champignons per opslagduur.

$$a.a. = (C_o - C_t) \times (V_o - V_c) / (M \times dt)$$

BIJLAGE 5

Bepaling soortelijke masse (s.m.) IvV

De s.m. werd bepaald door een afgesloten bakje van volume V_o te vullen met een hoeveelheid M aan champignons. Het bakje werd daarna gevacumeerd waarna bepaald werd hoeveel lucht uit het bakje verdwenen was (V_v).
De soortelijke massa is nu:

$$s.m. = M / (V_o - V_v)$$

BIJLAGE 6

Methode voor de bepaling van een hoge gasdoorlatendheid

Bij materialen met een hoge gasdoorlatendheid wordt de hoeveelheid gas die bij een bepaald drukverschil over het materiaal, door het materiaal heen permeert gemeten. Deze hoeveelheid is afhankelijk van het drukverschil, het beschikbare oppervlak en de temperatuur.

De gasdoorlatendheid van deze materialen kan als volgt worden bepaald.

Monteer het monster in een gasdoorlatendheidscel en controleer op lekkage volgens IvV-methode 3.12.

Monteer aan een zijde van de onderste kamer van de cel een drieweg kraan zoals in fig. 5. Zet de kraan in de aangegeven stand.

Monteer aan de afgesloten zijde ene micropipet met maatverdeling. In de pipet bevindt zich een vloeistofdruppel.

Spoel de cel met in beide kamers hetzelfde testgas.

Sluit van de onderkamer de testgastoevoer. Zet de drieweg kraan zodanig, dat een verbinding tussen pipet en onderkamer ontstaat (zie fig. 6).

Verhoog de druk van het gas op de bovenkamer (overdruk P_0 in mbar).

Bepaal de tijd (dt in sec.) die nodig is om de vloeistofdruppel over een bepaalde afstand (= volume) te verplaatsen (dV in μl).

Herhaal dit bij verschillende drukken.

De doorlatendheid voor het betreffende gas is nu:

$$P = dV / (dt \times P_0) \quad \mu l / (s. \text{ mbar}) \text{ per } 100 \text{ cm}^2 \text{ bij } T_1 \text{ graden en een buitendruk van } P_1 \text{ bar.}$$

Bij standaard temperatuur en druk per m^2 en 24 uur en 1 bar wordt dit:

$$P = P. \times 100 \times 24 \times 3600 \times 0,001 \times P_1 \times 273 / (1 \times T_1) / 1000$$

$m^2 \quad 24h. \quad bar \quad ml(ST)$

$$\Leftrightarrow P = P. \times 2358,72 \times P_1 / T_1 \quad ml(STP)/(m^2 \text{ 24h bar})$$

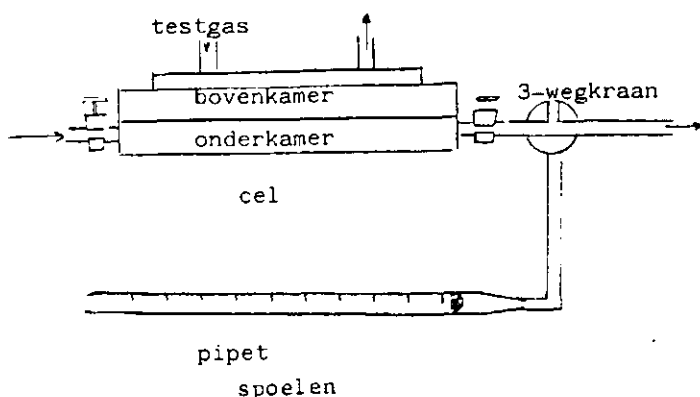


fig. 5

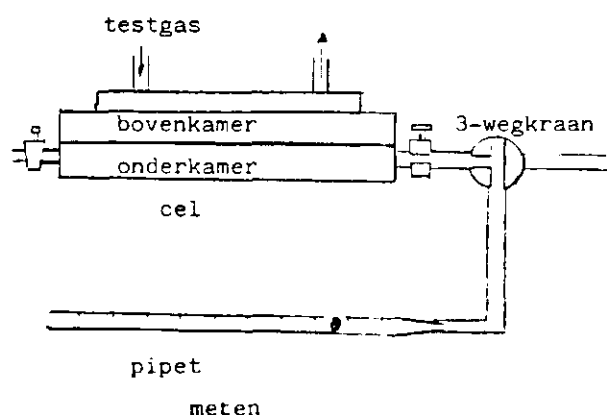


fig. 6

BIJLAGE 7

```
10 REM *** CA programma kleinverpakkingen * versie 88-3 *****
*
20 DIM PER(4),FRAC(4),DIFF(4),PARTSP(4),MOL(4),MATRIX(21,15),PERCENT(4),MT(50),M
O2(50),MCO2(50)
30 GOSUB 3050
40 READ R,K1,K2,DT: REM r=gaskonst, k1,k2 waterdampspanningskonst
50 READ GROENTES,BEGINMGR,BEGINV,BEGINOPP,T1,PU
60 READ PERCENT(1),PERCENT(2),PERCENT(3),RV
70 READ FOLIES,N2,O2,CO2,H2O
80 KEY OFF
90 ON KEY (1) GOSUB 690
100 ON KEY (2) GOSUB 790
110 ON KEY (3) GOSUB 870
120 ON KEY (4) GOSUB 950
130 ON KEY (5) GOSUB 1030
140 ON KEY (6) GOSUB 1110
150 ON KEY (7) GOSUB 1190
160 ON KEY (8) GOSUB 1480
170 ON KEY (9) GOSUB 1690
180 ON KEY (10) GOSUB 3490
190 FOR I = 1 TO 10
200 KEY(I) ON
210 NEXT I
220 CLS
230 FLAG=0
240 LOCATE 1,5:PRINT "F1 Groente   :"
250 LOCATE 1,22:PRINT GROENTES$
260 LOCATE 2,5:PRINT "F2 Gewicht   :"
270 LOCATE 2,22:PRINT USING " ##.###";BEGINMGR
280 LOCATE 2,31:PRINT "kg"
290 LOCATE 3,5:PRINT "F3 Volume gas  :"
300 LOCATE 3,22:PRINT USING " #####";BEGINV
310 LOCATE 3,31:PRINT "ml"
320 LOCATE 4,5:PRINT "F4 Opp. verp.  :"
330 LOCATE 4,22:PRINT USING " #####";BEGINOPP
340 LOCATE 4,31:PRINT "cm³"
350 LOCATE 5,5:PRINT "F5 Temperatuur:"
360 LOCATE 5,22:PRINT USING " ##.##";T1
370 LOCATE 5,31:PRINT "°C"
380 LOCATE 6,5:PRINT "F6 Druk        :"
390 LOCATE 6,22:PRINT USING " #.##";PU
400 LOCATE 6,31:PRINT "bar"
410 LOCATE 8,5:PRINT "F7 gas-samenstelling (Z)"
420 LOCATE 9,11:PRINT "stikstof  :"
430 LOCATE 9,22:PRINT USING " ##.##";PERCENT(1)
440 LOCATE 10,11:PRINT "zuurstof   :"
450 LOCATE 10,22:PRINT USING " ##.##";PERCENT(2)
460 LOCATE 11,11:PRINT "koolzuur   :"
470 LOCATE 11,22:PRINT USING " ##.##";PERCENT(3)
480 LOCATE 12,11:PRINT "rel. vochtigheid :"
490 LOCATE 12,29:PRINT USING " ##.##";RV
500 LOCATE 14,5:PRINT "F8 Folie    :";FOLIES$
```

```

510 LOCATE 15,9:PRINT "permeatie ml(STP)/(m² 24h.bar)"
520 LOCATE 16,11:PRINT "stikstof : "
530 LOCATE 16,22:PRINT USING " #####";N2
540 LOCATE 17,11:PRINT "zuurstof : "
550 LOCATE 17,22:PRINT USING " #####";O2
560 LOCATE 18,11:PRINT "koolzuur : "
570 LOCATE 18,22:PRINT USING " #####";CO2
580 LOCATE 19,11:PRINT "waterdamp : "
590 LOCATE 19,25:PRINT USING " ###";H2O
600 LOCATE 19,32:PRINT "g/(m² 24h) 100-0% r.v."
610 LOCATE 21,5:PRINT "F9 Start programma"
620 LOCATE 22,5:PRINT "F10 Exit -->"
630 LOCATE 2,60:PRINT "tijd : ";LEFT$(TIMES,5)
640 GOTO 240:REM if FLAG=0 THEN GOTO 210 ELSE GOTO 200
650 REM ***** positie cursor *****
660 RIJ=CSRLIN
670 KOL=POS(0)
680 RETURN
690 REM ***** F1 groente *****
700 GOSUB 650
710 LOCATE 1,22:INPUT "",GROENTES
720 COLOR 0,7
730 LOCATE 23,5:PRINT "ademhaling is :";AHA;:INPUT " wordt : ";AHA
740 COLOR 7,0
750 K3= AHA/(22.4*1000*24*3600)
760 LOCATE 23,5:PRINT " ";
770 LOCATE RIJ,KOL
780 RETURN
790 REM ***** F2 gewicht *****
800 GOSUB 650
810 COLOR 0,7
820 LOCATE 23,5:INPUT "gewicht (kg) ";BEGINMGR
830 COLOR 7,0
840 LOCATE 23,5:PRINT " ";
850 LOCATE RIJ,KOL
860 RETURN
870 REM ***** F3 volume *****
880 GOSUB 650
890 COLOR 0,7
900 LOCATE 23,5:INPUT "volume gas (ml) ";BEGINV
910 COLOR 7,0
920 LOCATE 23,5:PRINT " ";
930 LOCATE RIJ,KOL
940 RETURN
950 REM ***** F4 opp. verpakking *****
960 GOSUB 650
970 COLOR 0,7
980 LOCATE 23,5:INPUT "opp. verpakking (cm²) ";BEGINOPP
990 COLOR 7,0
1000 LOCATE 23,5:PRINT " ";

```

```
1010 LOCATE RIJ,KOL
1020 RETURN
1030 REM ***** F5 temperatuur *****
1040 GOSUB 650
1050 COLOR 0,7
1060 LOCATE 23,5:INPUT "temperatuur (°C)";T
1070 COLOR 7,0
1080 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1090 LOCATE RIJ,KOL
1100 RETURN
1110 REM ***** F6 druk *****
1120 GOSUB 650
1130 COLOR 0,7
1140 LOCATE 23,5:INPUT "druk (bar) ";PU
1150 COLOR 7,0
1160 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1170 LOCATE RIJ,KOL
1180 RETURN
1190 REM ***** F7 gas-samenstelling *****
1200 GOSUB 650
1210 COLOR 0,7
1220 LOCATE 23,5:INPUT "stikstof (Z) ";PERCENT(1)
1230 COLOR 7,0
1240 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1250 COLOR 0,7
1260 LOCATE 23,5:INPUT "zuurstof (Z) ";PERCENT(2)
1270 COLOR 7,0
1280 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1290 COLOR 0,7
1300 LOCATE 23,5:INPUT "koolzuur (Z) ";PERCENT(3)
1310 COLOR 7,0
1320 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1330 COLOR 0,7
1340 LOCATE 23,5:INPUT "rel. vochtigheid (Z) ";RV
1350 COLOR 7,0
1360 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1370 IF PERCENT(1)+PERCENT(2)+PERCENT(3)= 100 THEN 1470
1380 COLOR 0,7
1390 LOCATE 23,5:PRINT "totale gas-samenstelling klopt niet"
1400 TIJD=TIMER
1410 WHILE TIJD+3>TIMER
1420 WEND
1430 COLOR 7,0
1440 LOCATE 23,5:PRINT " "
1450 GOTO 1210
1460 LOCATE RIJ,KOL
1470 RETURN
1480 REM ***** F8 permeatie folie *****
1490 GOSUB 650
1500 LOCATE 14,18:INPUT "",FOLIES
```

```

1510 COLOR 0,7
1520 LOCATE 23,5:INPUT "stikstof ";N2
1530 COLOR 7,0
1540 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1550 COLOR 0,7
1560 LOCATE 23,5:INPUT "zuurstof ";O2
1570 COLOR 7,0
1580 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1590 COLOR 0,7
1600 LOCATE 23,5:INPUT "koolzuur ";CO2
1610 COLOR 7,0
1620 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1630 COLOR 0,7
1640 LOCATE 23,5:INPUT "waterdamp ";H2O
1650 COLOR 7,0
1660 LOCATE 23,5:PRINT " ";
1670 LOCATE RIJ,KOL
1680 RETURN
1690 REM **** bewerking alg gegevens *****
1700 GOSUB 650
1710 T=T1+273 :REM temp in kelvin
1720 OPP=BEGINOPP*.0001 :REM opp in m2
1730 V=BEGINV*.000001 :REM volume in m3
1740 MGR=BEGINMGR
1750 REM **** herberekening permeaties naar mol/(m2 s bar) *****
1760 PER(1)=N2*.000001*760*133.32/(R*273*24*3600)
1770 PER(2)=O2*.000001*760*133.32/(R*273*24*3600)
1780 PER(3)=CO2*.000001*760*133.32/(R*273*24*3600)
1790 PER(4)=H2O/(18*24*3600*.05962)
1800 SCREEN 0,0,0,0:CLS:GOSUB 2850
1810 GOSUB 2290:GOSUB 2260:X17=26
1820 REM *** gasverbruik berekening *****
1830 WHILE X17<630
1840 GOSUB 2100
1850 GOSUB 2980
1860 REAC(2)=-ACTIVITEIT*MGR*DT
1870 REAC(3)=-REAC(2):REAC(4)=-REAC(2)
1880 MGR=MGR-.18*REAC(3)
1890 REM *** diffusie berekeningen *****
1900 FOR I=1 TO 4
1910 DIFF(I)=-PER(I)*(FRAC(I)*PU-PARTSP(I))*OPP*DT
1920 NEXT I
1930 REM *** mol balans *****
1940 MOLTOT =0
1950 FOR I=1 TO 4
1960 MOL(I)=DIFF(I)+REAC(I)+MOL(I)
1970 IF MOL(I)<0 THEN MOL(I)=0
1980 MOLTOT=MOLTOT+MOL(I)
1990 NEXT I
2000 REM *** nieuwe fracties *****

```

```
2010 MOLH2OMAX=PSH2O*100/RV*100000!*V/(R*T)
2020 IF MOL(4)>MOLH2OMAX THEN MOLTOT=MOLTOT-MOL(4)+MOLH2OMAX:MOL(4)=MOLH2OMAX
2030 FOR I=1 TO 4
2040 FRAC(I)= MOL(I)/MOLTOT
2050 NEXT I
2060 V=MOLTOT*R*T/(PU*100000!)
2070 IF V<0 OR MGR<0 THEN PRINT "berekeningen gestopt":GOSUB 2590
2080 WEND
2090 GOTO 2200
2100 REM *** plot O2 en CO2 fractie *****
2110 X1Z=X1Z+1
2120 Y1Z=282-FRAC(2)*1000
2130 Y2Z=282-FRAC(3)*1000
2140 IF X1Z=27 THEN X0=26:Y0=Y1Z:Y00=Y2Z
2150 LINE (X1Z,Y1Z)-(X0,Y0):LINE (X1Z,Y2Z)-(X0,Y00)
2160 X0=X1Z: Y0=Y1Z: Y00=Y2Z
2170 A$=INKEY$
2180 IF LEN(A$)=0 THEN 2190 ELSE X1Z=631
2190 RETURN
2200 LOCATE 21,3
2210 INPUT "T= ander tijdsinterval, S= stoppen, H= hardcopy, M= meetgegevens ";DT
2220 IF DT$="H" THEN GOTO 2590 ELSE IF DT$="S" THEN 2810 ELSE IF DT$="T" THEN 22
30 ELSE IF DT$="M" THEN GOTO 3240 ELSE 2200
2230 LOCATE 21,3:PRINT "
"
2240 LOCATE 21,3:INPUT "tijdsinterval (s) ";DT
2250 GOTO 1800
2260 LOCATE 20,3
2270 PRINT "tijdsinterval :";DT;" s"
2280 RETURN
2290 REM *** plot assenstelsel *****
2300 CLS:SCREEN 3,0,0,0
2310 GOSUB 2400
2320 VIEW SCREEN (28,0)-(639,281),,1
2330 FOR J =282 TO 0 STEP-50
2340 LINE (0,J)-(640,J),,,&HFF00
2350 NEXT J
2360 FOR I =27 TO 639 STEP 100
2370 LINE (I,16)-(I,286),,,&HFF00
2380 NEXT I
2390 RETURN
2400 LOCATE 19,1
2410 PRINT " 0 tijd";
2420 LOCATE 19,13:PRINT USING "###.# ";100*DT/3600
2430 LOCATE 19,26:PRINT USING "###.# ";200*DT/3600
2440 LOCATE 19,38:PRINT USING "###.# ";300*DT/3600
2450 LOCATE 19,51:PRINT USING "###.# ";400*DT/3600
2460 LOCATE 19,63:PRINT USING "###.# ";500*DT/3600
2470 LOCATE 19,75:PRINT USING "###.# ";600*DT/3600
2480 LOCATE 19,71:PRINT "hr"
2490 LOCATE 18,1:PRINT " 0":LOCATE 17,6:PRINT "CO2"
2500 LOCATE 15,1:PRINT " 5":LOCATE 17,2:PRINT CHR$(24)
```

```

2510 LOCATE 12,1:PRINT "10":LOCATE 16,1:PRINT"[c]"
2520 LOCATE 9,1:PRINT "15"
2530 LOCATE 6,1:PRINT "20":LOCATE 7,6:PRINT "02"
2540 LOCATE 3,1:PRINT "25"
2550 LOCATE 19,7:PRINT CHR$(26);
2560 LOCATE 4,1:PRINT "Z"
2570 LOCATE 21,3:PRINT "druk een toets in om te stoppen"
2580 RETURN
2590 REM ***  hardcopy screen  ****
2600 LPRINT ""
2610 LPRINT "massa aan ";GROENTES;":";
2620 LPRINT USING "##.###";BEGINMGR;
2630 LPRINT " kg"
2640 LPRINT "ademhalingsactiviteit: ";
2650 LPRINT USING "###";K3*22.4*1000*24*3600;
2660 LPRINT " 1/(ton.24h)"
2670 LPRINT "begin volume : ";BEGINV;" ml"
2680 LPRINT "oppervlakte : ";BEGINOPP ;" cm²"
2690 LPRINT "temperatuur : ";T;" K"
2700 LPRINT "druk : ";PU;" bar"
2710 LPRINT "permeatie N2: ";:LPRINT USING "#####";N2;:LPRINT " ml(STP)/(m² 24
h bar)
2720 LPRINT " O2: ";:LPRINT USING "#####";O2
2730 LPRINT " CO2: ";:LPRINT USING "#####";CO2
2740 LPRINT " waterdamp: ";:LPRINT USING "#####";H2O;:LPRINT " g/(m² 24h)"
2750 LPRINT
2760 LOCATE 20,1
2770 PRINT "
"
2780 PRINT "
"
2790 LCOPY
2800 REM ****
2810 LOCATE 21,3
2820 PRINT "Terug naar hoofd-menu druk op toets "
2830 A$=INPUT$(1)
2840 SCREEN 0,0,0,0:FLAG=1:LOCATE RIJ,KOL:RETURN
2850 REM *** correctie fractie in gasfase voor waterdampdruk ****
2860 PSH2O=(T*K1+K2)*(RV/100)
2870 PTOT=PU-PSH2O
2880 FOR I=1 TO 3
2890 FRAC(I)=PERCENT(I)/100*PTOT
2900 NEXT I
2910 FRAC(4)=PSH2O/PU
2920 FOR I =1 TO 4
2930 PARTSP(I)=FRAC(I)*PU
2940 MOL(I)=PARTSP(I)*1000001*V/(R*T) :REM r=gaskonstante J/mol /K
2950 NEXT I
2960 RETURN
2970 REM ****
2980 O2Z=FRAC(2)*100
2990 CO2Z=FRAC(3)*100
3000 IF O2Z> 21 THEN O2Z=21

```

```

3010 IF CO2Z> 15 THEN CO2Z=15
3020 ACTIVITEIT=MATRIX(O2Z,CO2Z)
3030 ACTIVITEIT=ACTIVITEIT/100*K3: REM act in mol/kg groente/sec
3040 RETURN
3050 REM *** binnen halen matrix *****
3060 CLS
3070 INPUT "naam file ademhalings-matrix ";NAAMS
3080 OPEN "i",#1,NAAMS
3090 FOR J=0 TO 21
3100 FOR I=0 TO 15
3110 INPUT#1,MATRIX(J,I)
3120 NEXT I
3130 NEXT J
3140 CLOSE#1
3150 INPUT "ademhalingsactiviteit (l/ton.24h)";AHA
3160 K3=AHA/(22.4*1000*24*3600): REM k3 in mol/kg/s
3170 RETURN
3180 REM *** data *****
3190 DATA 8.314,0.0011339,-0.30928,864
3200 REM R K1 K2 dt
3210 DATA champignons,0.250,500,250,10,1
3220 DATA 79,21,0,65
3230 DATA Bunzl HPF 25,10200,44000,165000,11.9
3240 LOCATE 21,3:PRINT "

3250 LOCATE 21,3:PRINT "meetgegevens al ingevoerd ? (J/N) "
3260 A$= INPUT$(1)
3270 IF A$<>"N" AND A$<>"J" THEN 3260
3280 LOCATE 21,3:PRINT "
3290 IF A$="J" THEN 3410
3300 LOCATE 22,3:INPUT "aantal meetpunten ";AANTAL
3310 LOCATE 22,3:PRINT "
3320 FOR MP=1 TO AANTAL
3330 LOCATE 22,3:PRINT MP;:INPUT " tijd (uren):";MT(MP)
3340 LOCATE 23,5:INPUT "Z O2:";MO2(MP)
3350 LOCATE 23,20:INPUT "Z CO2:";MCO2(MP)
3360 LOCATE 22,3
3370 PRINT "
3380 LOCATE 23,3
3390 PRINT "
3400 NEXT MP
3410 FOR I= 1 TO AANTAL
3420 XSET=27 + (MT(I)*3600)/DT
3430 YSETO2= 282 - MO2(I)*10
3440 YSETCO2= 282 - MCO2(I)*10
3450 PSET(XSET,YSETO2): CIRCLE(XSET,YSETO2),3
3460 PSET(XSET,YSETCO2): DRAW"NU3ND3NL3NR3"
3470 NEXT I
3480 GOTO 2200
3490 CLS:END

```

BIJLAGE 8

Produktonderzoek

Proef 1: Uittesten van een O₂-reeks gedurende bewaring en nabewaring

A. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O₂-concentraties; temp. 10°C en r.v. > 97%

conditie % CO ₂ - % O ₂	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
0 - 1	19,1	18,7	44,4	38,3	11,5	6,5
0 - 5	27,5	32,6	56,7	47,8	74,2	16,3
0 - 10	35,9	45,0	48,1	50,0	28,5	34,0
0 - 21	35,3	40,4	57,2	50,0	56,5	26,5

H1 en H2 herkomsten

B. Idem A, waarbij over de luchtcondities is gemiddeld en zo de herkomstverschillen worden benadrukt.

herkomst	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
H1	29,4	a	51,6	b	42,7	a
H2	34,2	b	46,5	a	20,9	a
LSD-waarde ¹⁾	2,42		4,20		31,92	

C. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden (toename t.o.v. de waarden bij uitslag) van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O₂-concentraties; temperatuur 10°C en r.v. > 97%; gevolgd door 1 dag nabewaren bij een normale luchtsamenstelling, temperatuur 15°C en r.v. ± 90%.

conditie % CO ₂ - % O ₂	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
0 - 1	6,1	4,8	33,9	30,1	13,3	4,1
0 - 5	3,4	2,5	32,3	24,0	53,8	38,9
0 - 10	3,2	3,4	28,1	32,5	46,9	48,1
0 - 21	3,4	3,1	33,9	39,7	23,1	35,0

H1 en H2 herkomsten

D. Idem C, waarbij over de luchtcondities is gemiddeld en zo de herkomstverschillen worden benadrukt.

herkomst	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
H1	4,0	a	32,0	a	34,3	a
H2	3,5	b	31,6	a	31,5	a
LSD-waarde	0,56		7,18		20,86	

* Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend

¹⁾ LSD = "Least Significant Difference" - waarde

BIJLAGE 9

Produktonderzoek

Proef 2: CO₂-reeks tijdens nabewaring

A. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden (toename t.o.v. de waarden bij uitslag; voor de waarden bij uitslag zie tabel 2 in hoofdstuk 5.1.3.) van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende CO₂-concentraties en 1% O₂; temperatuur 10°C en r.v. > 97%; gevolgd door 1 dag nabewaren bij normale luchtcondities, temperatuur 15°C en ± 90% r.v.

conditie % CO ₂ - % O ₂	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
0 - 1	3,4	2,9	22,5	28,3	2,6	9,0
1 - 1	3,4	1,5	20,6	18,1	1,6	5,0
3 - 1	2,0	2,1	17,5	18,0	1,3	2,7
5 - 1	2,4	2,6	28,9	18,4	3,3	13,0
7 - 1	0,9	1,3	28,3	20,0	1,3	2,5
10 - 1	0,8	0,7	33,3	24,3	0	0
0 - 21	2,6	1,5	27,6	17,9	13,2	26,6
0 - 3	2,3	2,0	27,5	10,0	17,7	27,6

H1 en H2 herkomsten

B. Idem A, waarbij over de luchtcondities is gemiddeld en zo de herkomstverschillen worden benadrukt.

herkomst	% groei	% kleurachteruitgang	% open hoeden
H1	2,2 a	25,8 b	5,1 a
H2	1,7 a	19,4 a	10,8 b
LSD-waarde ¹⁾	0,61	4,71	5,12

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend

¹⁾ LSD = "Least Significant Difference"- waarde

BIJLAGE 10

Produktonderzoek

Proef 3: 5 dagen bewaren

A. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 5 dagen bewaren bij verschillende O₂-condities; 7% CO₂; temperatuur 10°C en r.v. > 97%.

conditie % CO ₂ -% O ₂	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
7 - 1	5,5	8,1	40,0	58,0	0	1,2
7 - 3	8,6	11,9	46,7	55,3	0	0
7 - 5	8,9	10,0	33,3	53,3	1,2	0
7 - 10	5,5	7,8	36,7	48,7	0	0
7 - 14	14,6	11,3	34,7	52,0	0	7,7
0 - 21	30,5	34,1	28,7	46,7	3,7	8,7

H1 en H2 zijn herkomsten

B. Idem A, waarbij over de luchtconcentraties is gemiddeld om zo de herkomstverschillen te benadrukken.

herkomst	% groei	% kleurachteruitgang	% open hoeden
H1	12,2 a	36,7 a	0,9 a
H2	13,8 b	52,3 b	2,5 a
LSD-waarde ¹⁾	0,13	3,70	

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend

Proef 3: 9 dagen bewaren

C. Groei, kleurachteruitgang en het openen van de hoeden van champignons na 9 dagen bewaren bij verschillende O₂-concentraties, 7% CO₂; temp. 10°C en r.v. > 97%.

conditie % CO ₂ -% O ₂	% groei		% kleurachteruitgang		% open hoeden	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
7 - 1	9,9	10,5	51,3	64,0	0	0
7 - 3	9,2	13,8	48,0	68,7	1,2	2,5
7 - 5	8,8	12,8	44,0	62,7	0	1,2
7 - 10	7,5	10,0	52,0	58,7	0	2,5
7 - 14	11,3	16,5	46,7	61,3	5	20
0 - 21	32,5	39,6	48,7	70,7	10	32,5

H1 en H2 zijn herkomsten

D. Idem A, waarbij over de luchtcondities is gemiddeld om zo de herkomstverschillen te benadrukken.

herkomst	% groei	% kleurachteruitgang	% open hoeden
H1	13,3 a	48,4 a	2,5 a
H2	17,3 b	64,3 b	8,9 b
LSD-waarde ¹⁾	2,16	3,64	

Getallen met eenzelfde letter zijn niet significant verschillend

¹⁾ LSD = "Least Significant Difference"-waarde

BIJLAGE 11

Gasdoorlatendheid van folies

Tabel 5: Resinite, gasdoorlatendheden

Temp. °C	R.V. %	Rek %	Gem. doorlatendheid in ml(STP)/(m ² .bar.24h)	
			Zuurstof	Koolzuur
5	laag	0	6.500	56.000
10	laag	0	8.400	66.000
15	laag	0	11.500	76.000
5	ca 100	0	1.500	30.000
15	ca 100	0	1.800	30.000
10	laag	0	8.400	66.000
10	laag	50 in lengte en breedte	9.000	70.000

De metingen zijn minimaal in drievoud uitgevoerd.

Tabel 6: HPF 25 en 50, waterdamp- en gasdoorlatendheden

Temp. °C	R.V. %	HPF	Gemiddelde Waterdamp- doorl.h. g/(m².24h)	Gemiddelde gasdoorlatendheid in ml(STP)/(m².24h.bar) *)		
				Zuurstof	Koolzuur	Stikstof
25						
10	95-97 tegen 0		11,9	-	-	-
10	<5		-	44.900 (2.500)	164.300 (8.900)	10.200 (2.500)
10	ca. 100		-	43.400 (5.200)	160.000 (15.400)	-
50						
10	95-97 tegen 0		5,7	-	-	-
10	<5		-	18.600 (1.100)	64.100 (7.500)	4.250 (350)
10	ca. 100		-	18.100 (900)	72.300 (9.200)	4.350 (300)

De metingen zijn minimaal in drievoud uitgevoerd.

*) De tussen haakjes vermelde waarden betreffen de standaardafwijking.

Tabel 7: KLF 25 en 50, waterdamp- en gasdoorlatendheden

Temp. °C	R.V. Z	KLF	Waterdamp doorl.h. g/(m².24h)	Gemiddelde gasdoorlatendheid in ml(STP)/(m².24h.bar) *)		
				Zuurstof	Koolzuur	Stikstof
25						
10	95-97 tegen 0		11,8	-	-	-
10	<5		-	40.000 (1.500)	131.000 (8.000)	8.500 (100)
50						
10	95-97 tegen 0		6,0	-	-	-
10	<5		-	20.000 (1.000)	66.000 (5.500)	4.300 (100)

De metingen zijn minimaal in drievoud uitgevoerd.

*) De tussen haakjes vermelde waarden betreffen de standaardafwijking.

Opmerking: gezien de nagenoeg gelijke gas- en waterdampdoorlatendheden van de materialen KLF en HPF zijn hier de metingen bij hoge vochtigheid niet meer uitgevoerd.

BIJLAGE 12

Onderzoek gascondities in de huidige champignonverpakkingen

Het O₂- en CO₂-gehalte in de verpakking van kleinverpakte champignons; bewaard bij 10°C; op verschillende tijdstippen na het dichtsealen; per behandeling en per herkomst.

her- komst	behan- deling	aantal uren na het dichtsealen van de verpakking							
		8½		25		49		7 dagen	
		% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂
I	A 1	6	11,3	5,8	15,7	6,4	14,5	7,2	13,3
	2	6	11,6	8,0	9,9	8,6	10,5	8,0	11,2
	3	6,4	11,5	>10	4,2	10	7,6	8,6	11,6
	4	6,2		>10		8,4		>10	
	5	7,6		9,9		9,0		>10	
	B 1	4,2	8,2	4,4	16,9	5,2	16,7	9,4	10,1
	2	7,2	8,3	9,9	4,5	1,2 lek		2,8 lek	17,3
	3	6,5	11,9	>10	5,7	>10	6,2	9,8	8,5
	4	6,5		8,6		5,6		5,2	
	5	5,6		>10		10		>10	
II	A 1	5,9	13,1	9,8	4,5	>10	3,2	>10	3,8
	2	5,8	13,3	9,9	6,3	9,0	8,7	7,0	13,0
	3	6,0	13,4	4,0	18,8	2,0	20,2	1,0 lek	
	4	4,9		7,0		6,6		7,7	
	5	6,4		>10,0		9,9		10,0	
	B 1	5,0	12,7	5,8	15,6	7,6	14,5	9,2	11,1
	2	5,2	10,5	3,7	18,1	5,0	17,9	4,2	16,2
	3	7,3	11,5	10,0	6,8	9,8	7,8	>10	5,5
	4	5,0		5,8		6,8		7,6	
	5	7,0		8,0		9,2		8,6	
III	A 1	5,5	12,8	>10	7,5	7,2	10,5	9,4	10,8
	2	6,2	12,5	7,6	12,0	7,3	11,7	8,4	9,7
	3	7,6	12,8	9,0	10,6	7,6	11,2	9,9	13,1
	4	6,4		10,0		7,4		>10	
	5	5,8		6,5		6,2		3,0 lek	
	B 1	6,6	13,4	7,0	14,2	6,2	13,0	7,0	12,6
	2	8,4	13,2	7,8	15,3	7,5	11,4	7,2	12,6
	3	4,4	12,8	4,4	17,7	4,7	16,8	5,2	14,8
	4	4,4		5,2		5,0		4,8	
	5	7,2		8,8		8,0		7,8	

A - verpakte champignons zijn na het sealen van de band genomen

B - de champignonbakjes hebben een extra handeling ondergaan: het wegzetten in een tray en het er weer uithalen

BIJLAGE 13

Verificatieproeven

Tabel 8: Opslagproef 1; Gasconcentratie in verpakking HPF 50 na een bepaalde opslagperiode

massa	volume	tijd	gemeten conc. [%]		berekende conc. [%]	
g	ml	uren	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
152	487	6,20	12,2	6,4	13,2	7,0
154	485	5,33	12,7	5,4	13,9	6,4
140	498	5,53	15,2	5,3	14,4	5,9
*149	490	5,69	13,4	5,7	3,8	6,5
152	487	16,45	1,3	13,1	6,4	11,5
154	485	17,75	1,3	13,2	5,5	12,0
154	485	18,28	2,1	13,2	5,3	12,1
140	498	16,82	4,4	11,2	7,2	10,9
140	498	17,65	4,2	11,4	6,8	11,1
*148	490	17,39	2,7	12,4	6,3	11,5
138	499	23,77	6,0	11,4	4,2	12,2
150	486	25,04	1,2	12,8	4,2	12,2
*144	494	24,41	3,6	12,1	4,2	12,2
148	490	39,77	1,3	11,5	1,5	10,4
143	495	40,33	1,4	11,5	1,5	10,5
155	484	41,12	1,2	11,9	1,4	10,0
*148	490	40,41	1,3	12,0	1,4	10,3
155	484	47,40	1,3	12,3	1,3	9,1
149	489	47,00	1,3	11,7	1,5	9,1
142	496	47,88	1,3	10,4	1,5	9,2
*149	490	47,43	1,3	11,5	1,4	9,1

De rij resultaten met een * ervoor geven het gemiddelde van de bovenstaande waarnemingen. Deze resultaten zijn uitgezet in figuur 2.

Tabel 9: Opslagproef 2

Gasconcentratie in verpakking HPF 50 na een bepaalde opslagperiode.

Verpakking V = 650 ml

massa g	volume ml	tijd uren	gemeten conc. (%)		berekende conc. (%)	
			O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
146	523	3,03	16,4	2,2	16,2	5,1
145	524	3,48	17,2	1,9	15,6	5,6
146	523	6,17	14,7	3,0	11,9	8,8
146	523	6,60	14,6	3,0	12,0	8,8
145	524	19,00	1,3	11,0	3,0	14,8
146	523	19,50	1,3	11,8	2,5	15,0
146	523	25,42	1,2	11,9	1,3	14,4
145	524	25,88	1,4	13,6	1,3	14,4
146	523	48,20	3,0	14,0	0,5	10,2
145	524	48,60	1,3	10,4	0,5	10,2
146	523	49,03	1,3	11,1	0,5	10,1

Activiteit: 1550 l/ (ton 24h)

Soortelijke massa: 1,2 g/ml

Tabel 10: Opslagproef 2

Gasconcentraties in verpakking HPF 25 na een bepaalde opslagperiode.

Verpakking V = 500 ml

massa g	volume ml	tijd uren	gemeten conc. (%)		berekende conc. (%)	
			O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
120	376	5,58	12,7	4,3	13,6	6,3
120	376	5,22	12,5	3,4	13,9	6,1
119	378	21,82	2,2	8,9	6,1	6,8
121	375	22,28	2,9	8,8	5,9	6,9
119	377	28,90	5,3	8,5	4,2	6,6
122	375	29,32	13,2	5,5	3,7	6,7
121	375	46,05	1,3	8,6	2,5	5,6
119	377	45,67	6,6	8,1	2,5	5,7
120	376	69,93	-	4,5	2,5	5,3
121	376	69,47	1,3	7,0	2,5	5,3

Activiteit: 1400 l/ (ton 24h)

Soortelijke massa: 1,2 g/ml

Tabel 11: Opslagproef 3
Gasconcentraties

bakje	tijd uren	zuurstof %	koolzuur %
A 1	118,0	2,7	8,2
2	120,2	1,4	6,2
3	123,9	2,9	8,4
C 1	119,3	1,3	5,6
2	118,6	1,2	5,6
3	119,3	1,3	6,4
D 1	20,9	8,4	5,9
2	21,3	8,0	6,4
2	48,4	1,3	6,6
3	50,0	1,3	6,8
1	116,9	1,2	5,3
3	116,3	2,8	6,1
4	117,8	1,2	5,8

Tabel 12: Opslagproef 3
Ademhalingsactiviteit

champ.	a.a. 1/(ton.24h)
vers	830
opslag A	1130
opslag C	1295
opslag D	1825

Tabel 13: Opslagproef 3
Berekende ademhalingsactiviteit (1/(ton.24h) uit gemeten gasconc.

opslag	a.a. bij		evenwicht %		a.a.		r.a. %	
	21% O ₂ en	0% CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
C	1295		1,3	5,8	728	789	56	61
D	1825		1,7	5,7	713	776	39	43
*)	830		1,4	9,1	170	282	20	34

*) Zie tabel 12

tabel 14: Opslagproef 4
Serie 1

	tijd uren	O ₂ %	CO ₂ %
1	18,92	8,0	4,9
2	18,28	11,5	4,5
3	19,42	12,3	4,2
gem	18,87	10,6	4,5
1	43,50	14,9	3,5
2	44,05	11,3	4,7
3	44,67	15,7	3,6
gem	44,07	14,0	3,9
1	66,22	13,1	4,3
2	66,63	10,4	4,7
3	67,08	17,3	2,8
gem	66,64	13,6	3,9

tabel 15: Opslagproef 4
Serie 2

	tijd uren	O ₂ %	CO ₂ %
1	6,72	12,2	3,8
2	7,08	12,1	4,0
3	7,47	12,8	3,6
gem	7,09	12,8	3,8
1	30,18	6,2	3,3
2	30,65	9,8	5,9
3	31,08	11,7	4,0
gem	30,64	9,2	4,4
1	124	18,3	1,6
2	124,3	13,5	2,1
3	124,8	15,8	2,1

Tabel 16: Opslagproef 5

1e serie

Ademhalingsactiviteit in l/(ton.24h)

1 t/m 3; a.a. gemeten in gesloten glazen bakjes met ca. 200 g champignons

4; a.a. gemeten in grote glazen fles met ca. 530 g champignons

bakje	a.a.
1	1390
2	1210
3	1290
4	680
gem.	1142

Tabel 17: Opslagproef 5

1e serie

bakje	tijd	zuurstof koolzuur	
	uren	Σ	Σ
3	16,82	1,4	9,1
4	17,15	1,4	9,0
gem.	17,0	1,4	9,1
5	41,0	1,5	5,8
4	47,23	1,4	5,7
5	47,28	1,3	5,8
6	47,38	1,3	6,0
7	47,5	1,4	5,8
gem.	47,35	1,4	5,8
9	71,22	1,3	5,6
12	71,5	1,6	5,7
gem.	71,36	1,5	5,7
14	95,07	1,9	5,2
15	95,33	2,0	6,5
16	95,6	1,3	5,2
gem.	93,33	1,7	5,6
18	166,82	1,4	5,1
19	166,36	1,3	5,6
20	167,37	1,3	6,0
gem	166,8	1,3	5,6

Tabel 18: Opslagproef 5

2e serie

Ademhalingsactiviteit in l/(ton.24h)

1 t/m 3; a.a. gemeten aan bakjes uit de opslag waarbij de folie afgedekt was,
ca. 230 g champignons.

4 t/m 6; a.a. gemeten aan geheel glazen bakjes, ca. 200 g champignons,
7; a.a. gemeten in een grote fles met ca. 500 g champignons.

Bakje	a.a.
1	1010
2	1033
3	1021
4	1165
5	904
6	820
7	916
gem.	980

Tabel 19: Opslagproef 5

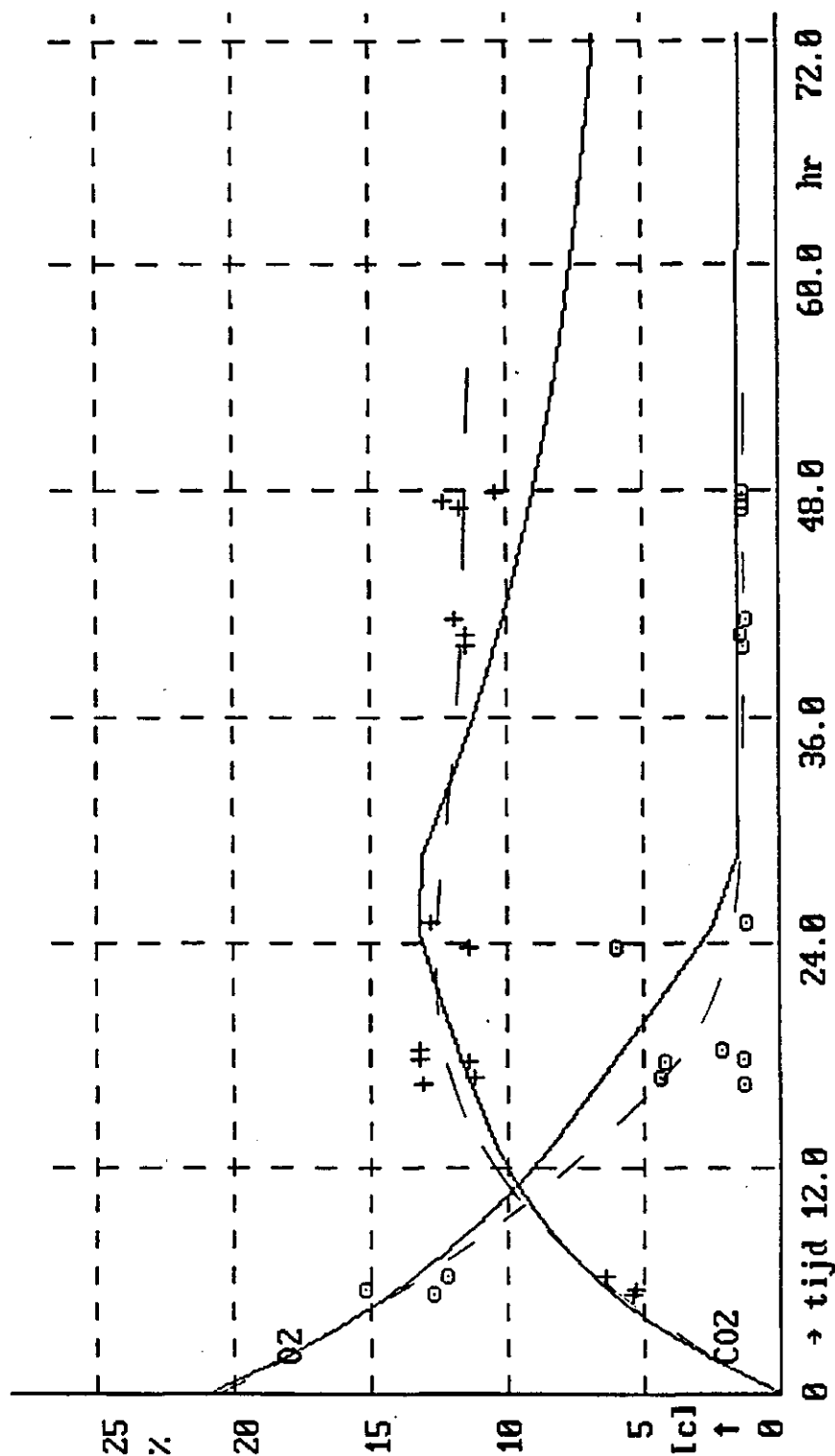
2e serie

bakje	tijd uren	zuurstof %	koolzuur %	a.a. (l/ton 24h)	
				CA-cond.	21/0
1	6,20	15,8	3,4		
2	6,50	13,4	3,8		
3	6,75	18,3	2,8		
gem.	6,48	15,8	3,3		
6	24,05	16,9	3,9		
7	23,78	10,6	3,6		
2	24,38	10,3	5,7	550	845
gem.	24,07	12,6	5,1		
10	30,5	16,2	4,7		
11	30,82	13,5	5,5		
12	31,0	13,6	5,3		
7	30,28	7,8	6,6	380	880
gem.	30,68	12,8	5,5		
10	52,03	15,3	4,5	160	215
11	51,78	12,8	6,1	500	770
12	52,28	13,8	4,9	380	550
gem.	52,03	14,0	5,2		
14	118,83	15,2	5,9	300	405
15	119,23	12,5	6,7	460	710
gem.	119,03	13,9	6,3		

BIJLAGE 14

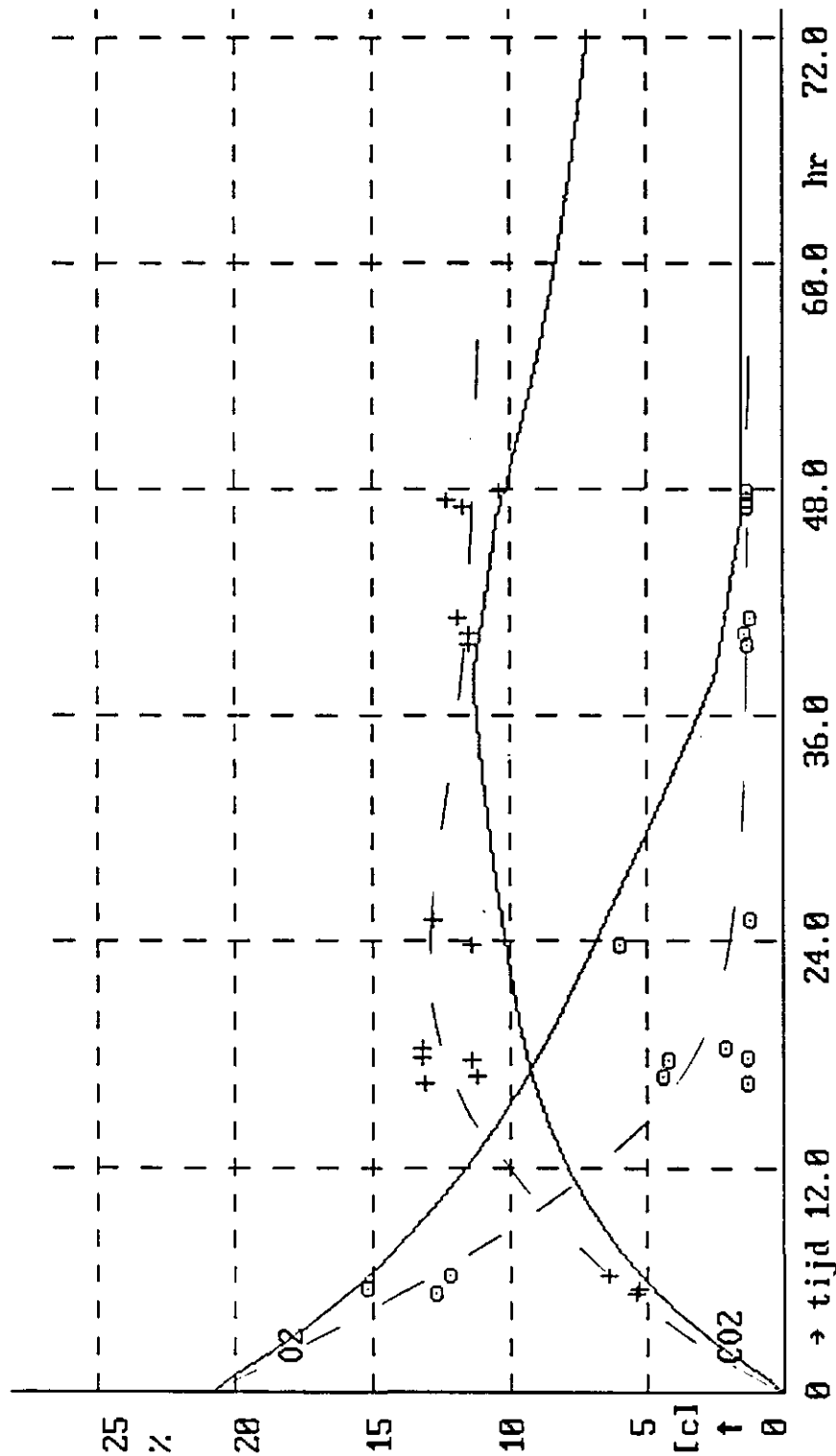
Figuren verificatieproeven

massa aan champignons: 0.149 kg
 ademhalingsactiviteit: 1150 l/(ton.24h)
 begin volume : 490 ml
 oppervlakte : 70 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 4300 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 18500
 CO₂: 66000
 waterdamp: 6 g/(m² 24h)



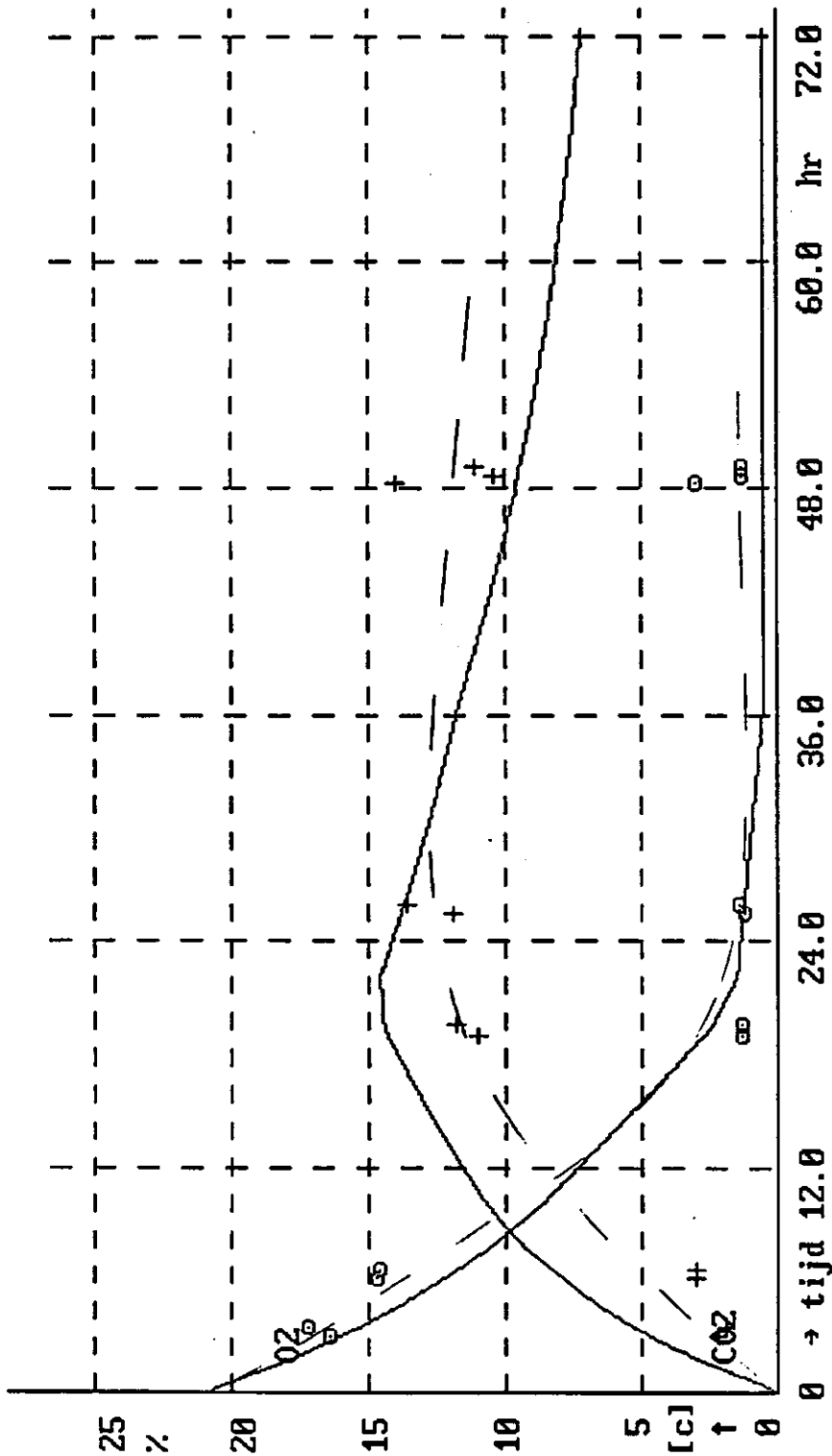
Afb. 7: 1e opslagproef, Bunzl HPF 50, a.a. = 1150 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan champignons: 0.149 kg
 ademhalingsactiviteit: 830 l/(ton.24h)
 begin volume : 490 ml
 oppervlakte : 70 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 4300 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 18500
 CO₂: 66000
 waterdamp: 6 g/(m² 24h)



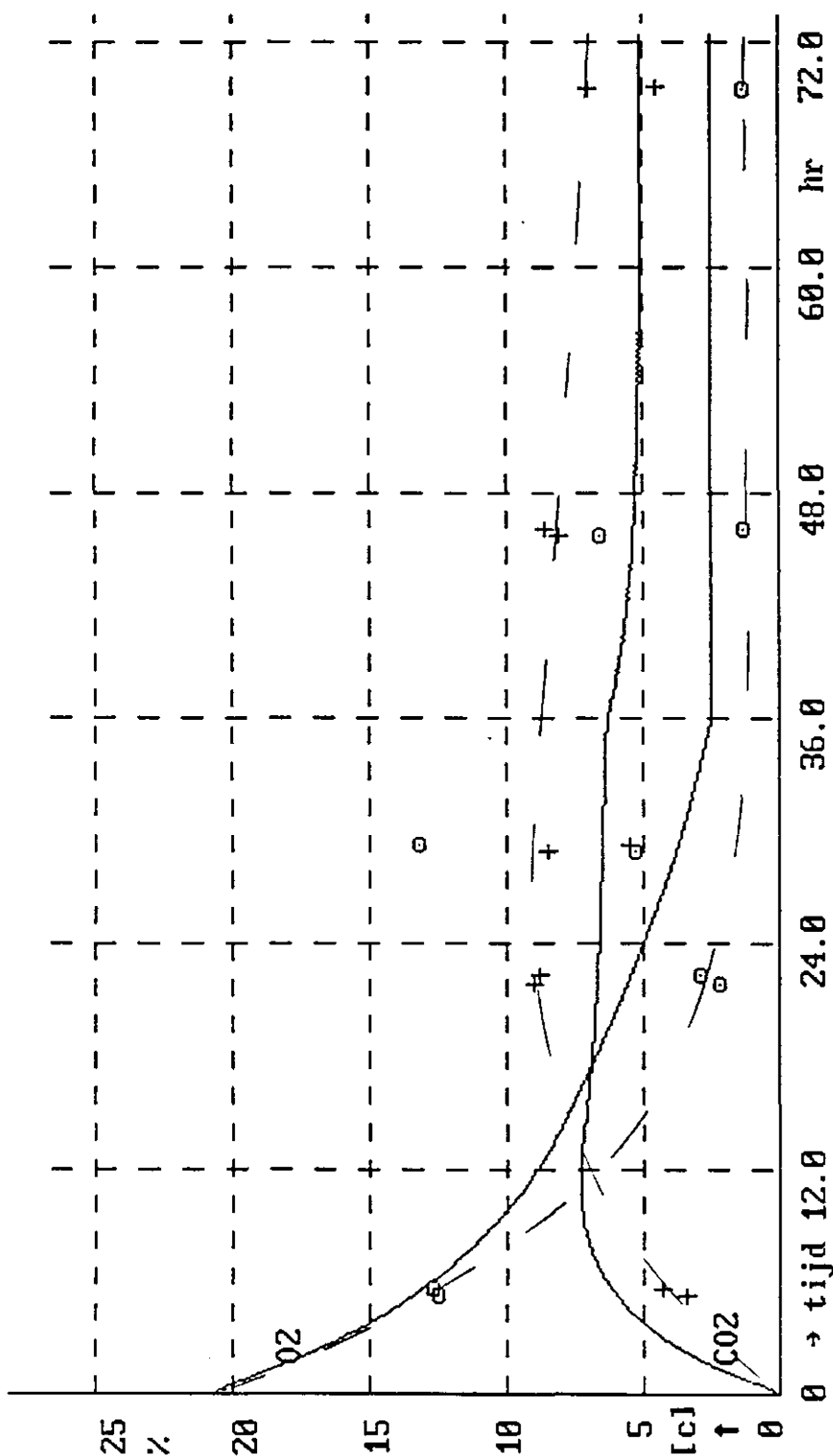
Afb. 8: 1e opslagproef, Bunzl HPF 50, a.a. = 830 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan champignons: 0.145 kg
 ademhalingsactiviteit: 1550 l/(ton.24h)
 begin volume : 524 ml
 oppervlakte : 70 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 4300 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 18500
 CO₂: 66000
 waterdamp: 6 g/(m² 24h)



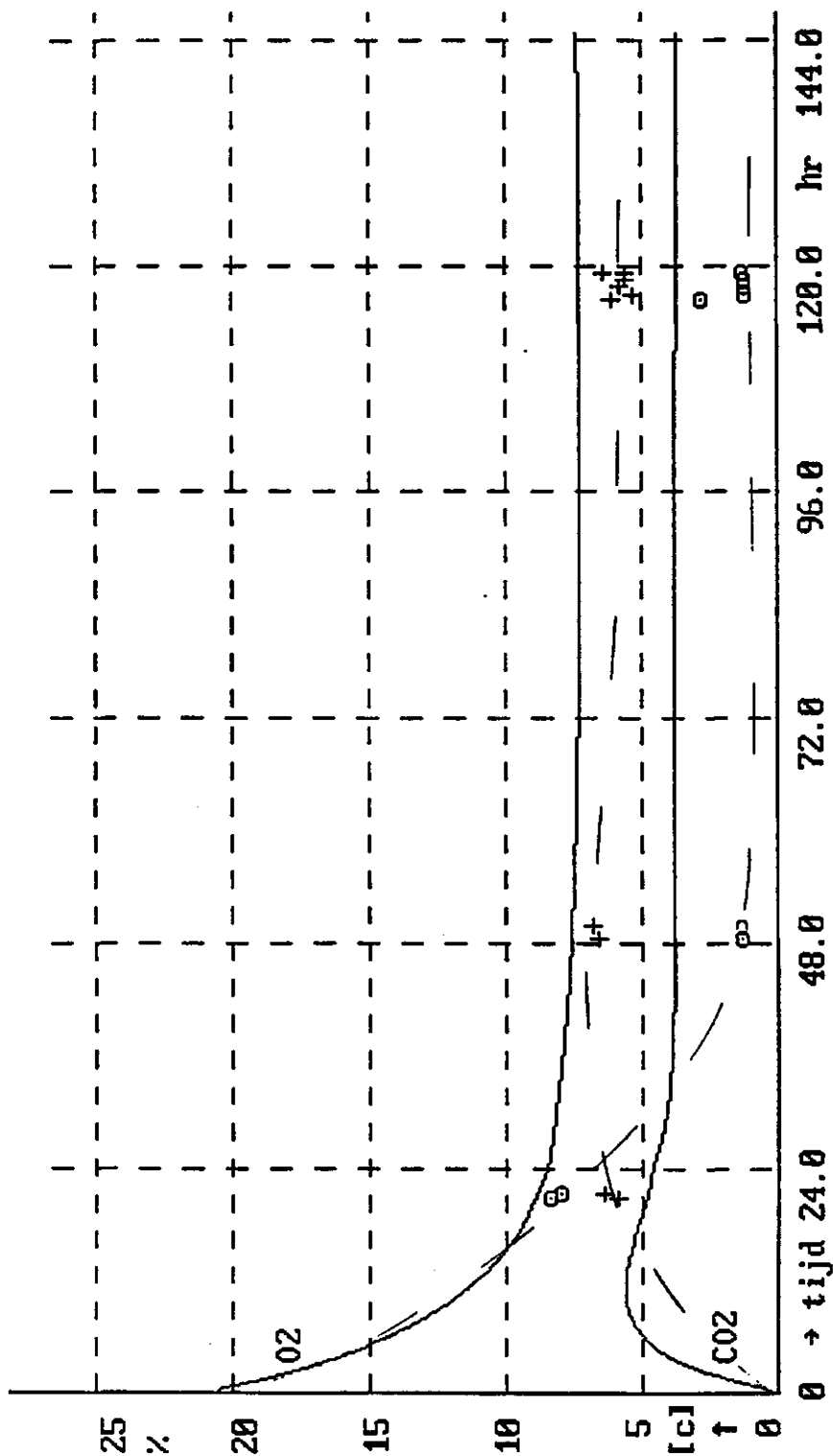
Afb. 9: 2e opslagproef, Bunzl HPF 50
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.120 kg
 ademhalingsactiviteit: 1400 l/(ton.24h)
 begin volume : 376 ml
 oppervlakte : 70 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 10200 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 44900
 CO₂: 164300
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



Afb. 10: 2e opslagproef, Bunzl HPF 25
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.250 kg
 ademhalingsactiviteit: 1295 l/(ton.24h)
 begin volume : 930 ml
 oppervlakte : 210 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N2: 10200 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O2: 44000
 CO2: 162000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



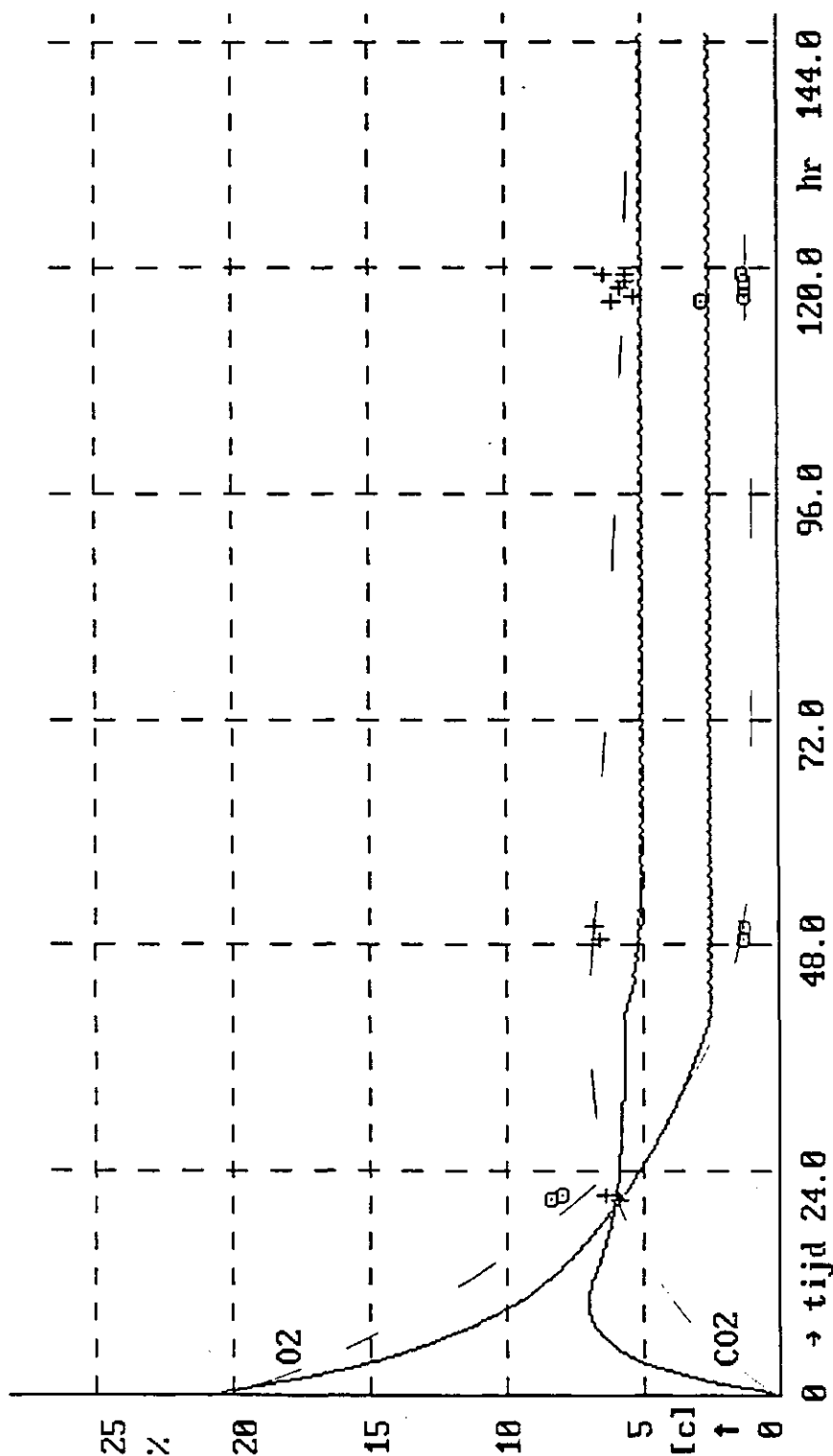
Afb. 11: 3e opslagproef, Bunzl HPF 25 op alternatief bakje.

a.a. = 1295 l/(ton.24h)

o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)

+ koolzuur (doorlopend = berekend)

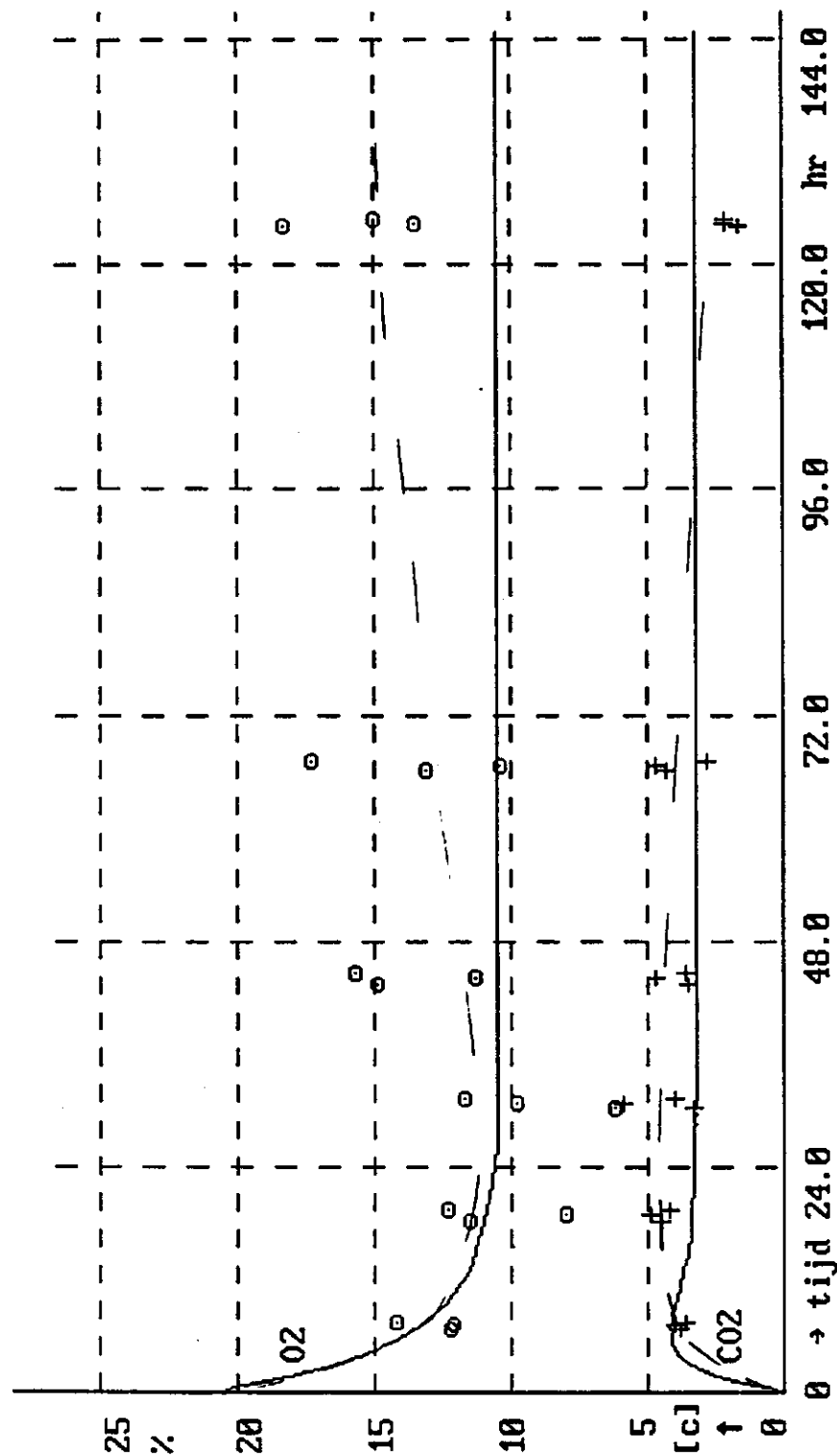
massa aan Champignons: 0.250 kg
 ademhalingsactiviteit: 1825 l/(ton.24h)
 begin volume : 930 ml
 oppervlakte : 210 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 10200 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 44000
 CO₂: 162000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



Afb. 12a 3e opslagproef, Bunzl HPF 25 op alternatief bakje.

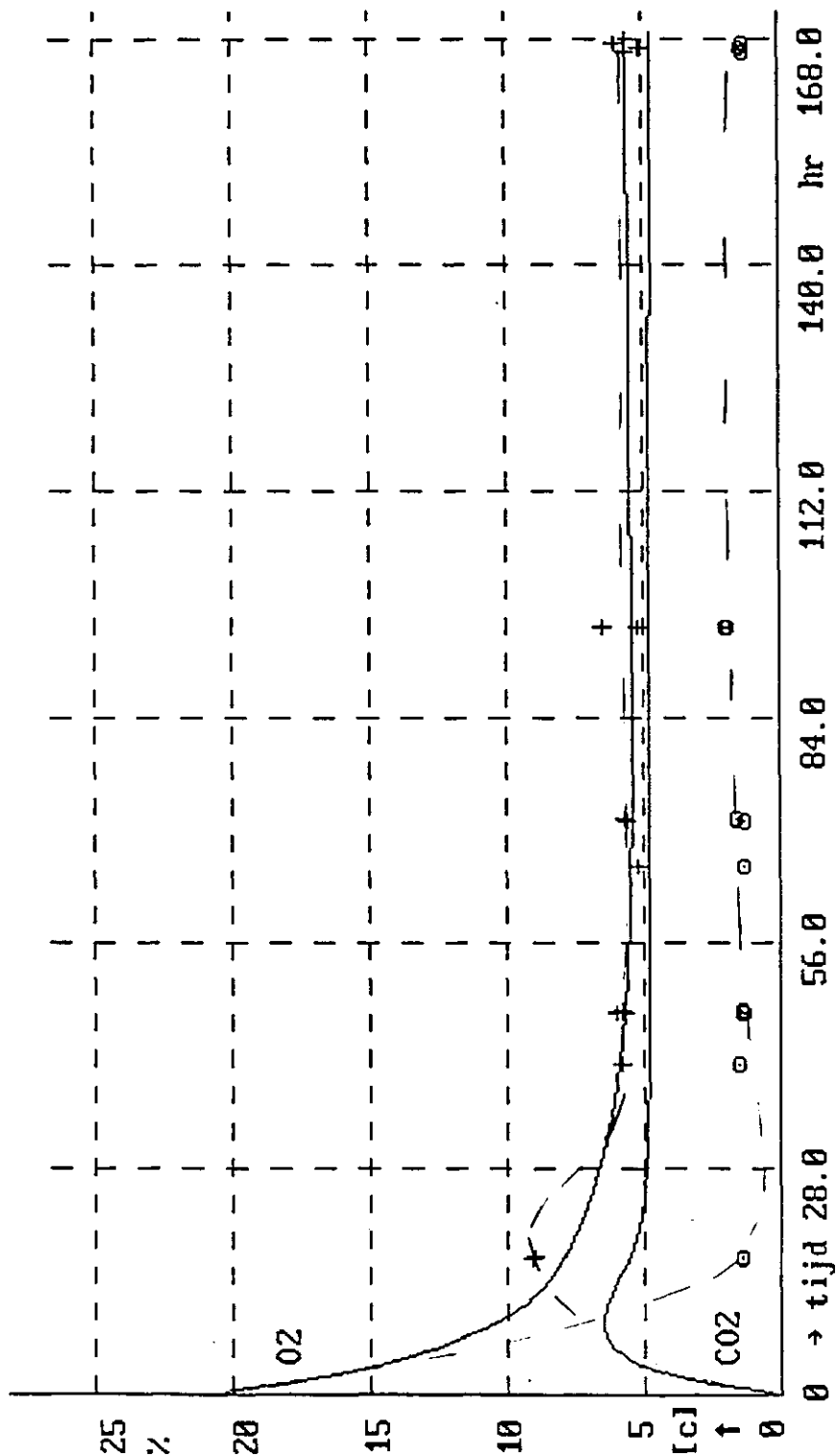
a.a. = 1825 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.200 kg
 ademhalingsactiviteit: 1125 l/(ton.24h)
 begin volume : 500 ml
 oppervlakte : 575 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 4300 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 20000
 CO₂: 66000
 waterdamp: 6 g/(m² 24h)



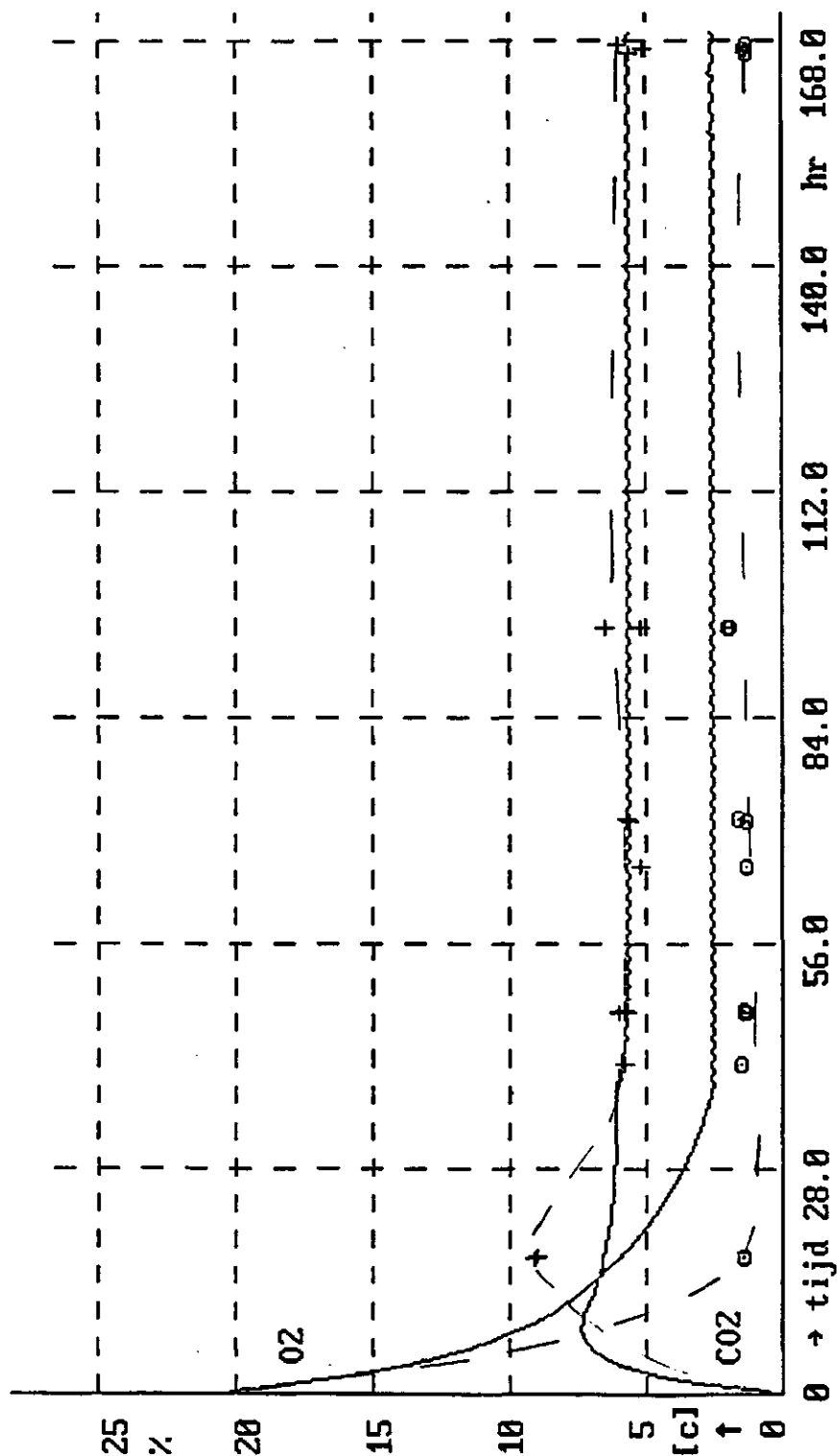
Afb. 13: 4e opslagproef, 1e en 2e serie samen, zakjes Van Leer KLF 50
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.230 kg
 ademhalingsactiviteit: 1140 l/(ton.24h)
 begin volume : 525 ml
 oppervlakte : 170 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 8500 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 40000
 CO₂: 131000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



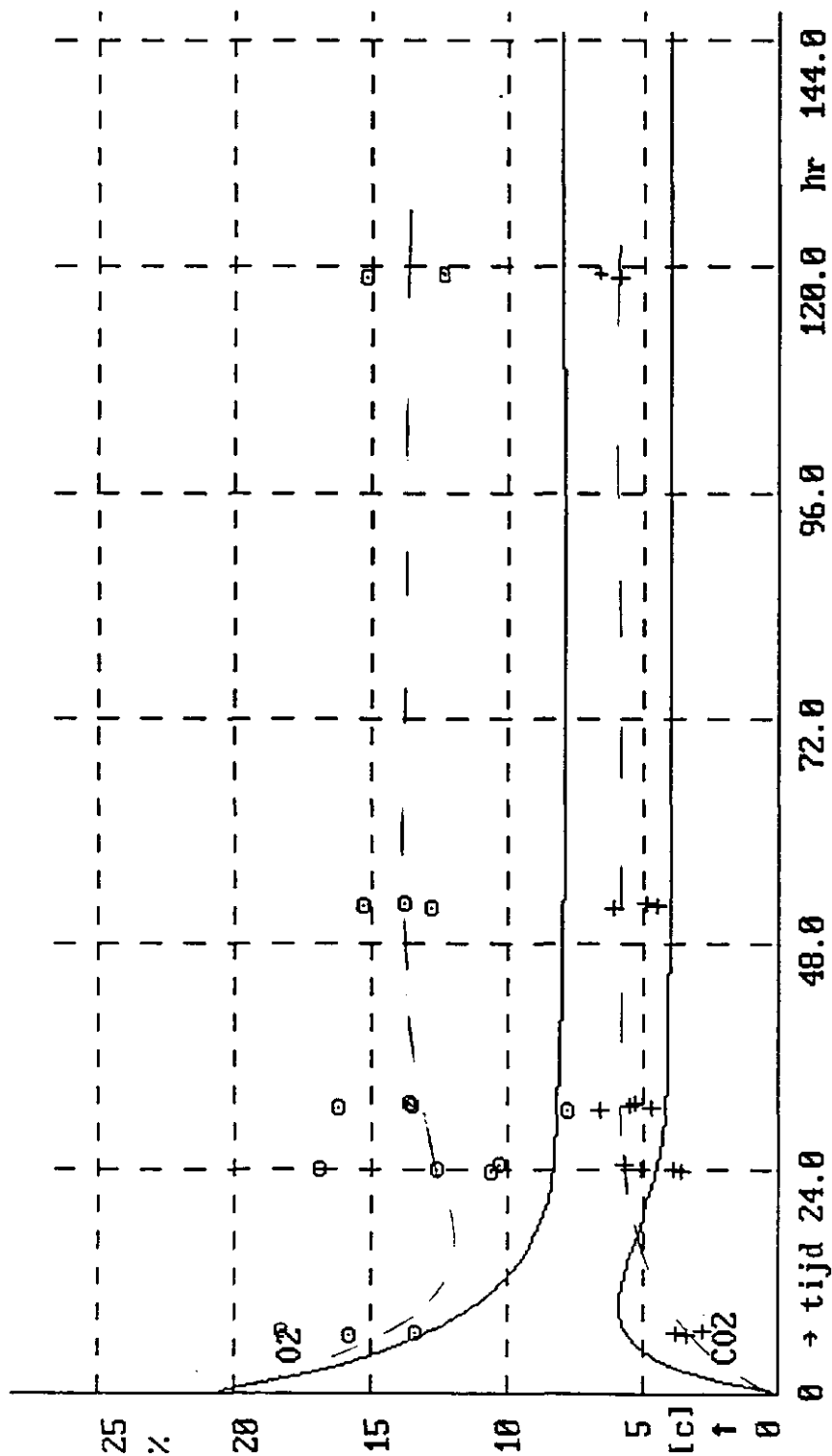
Afb. 14a: 5e opslagproef, 1e serie, Van Leer KLF 50, a.a. = 1140 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.230 kg
 ademhalingsactiviteit: 1390 l/(ton.24h)
 begin volume : 525 ml
 oppervlakte : 170 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 8500 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 40000
 CO₂: 131000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



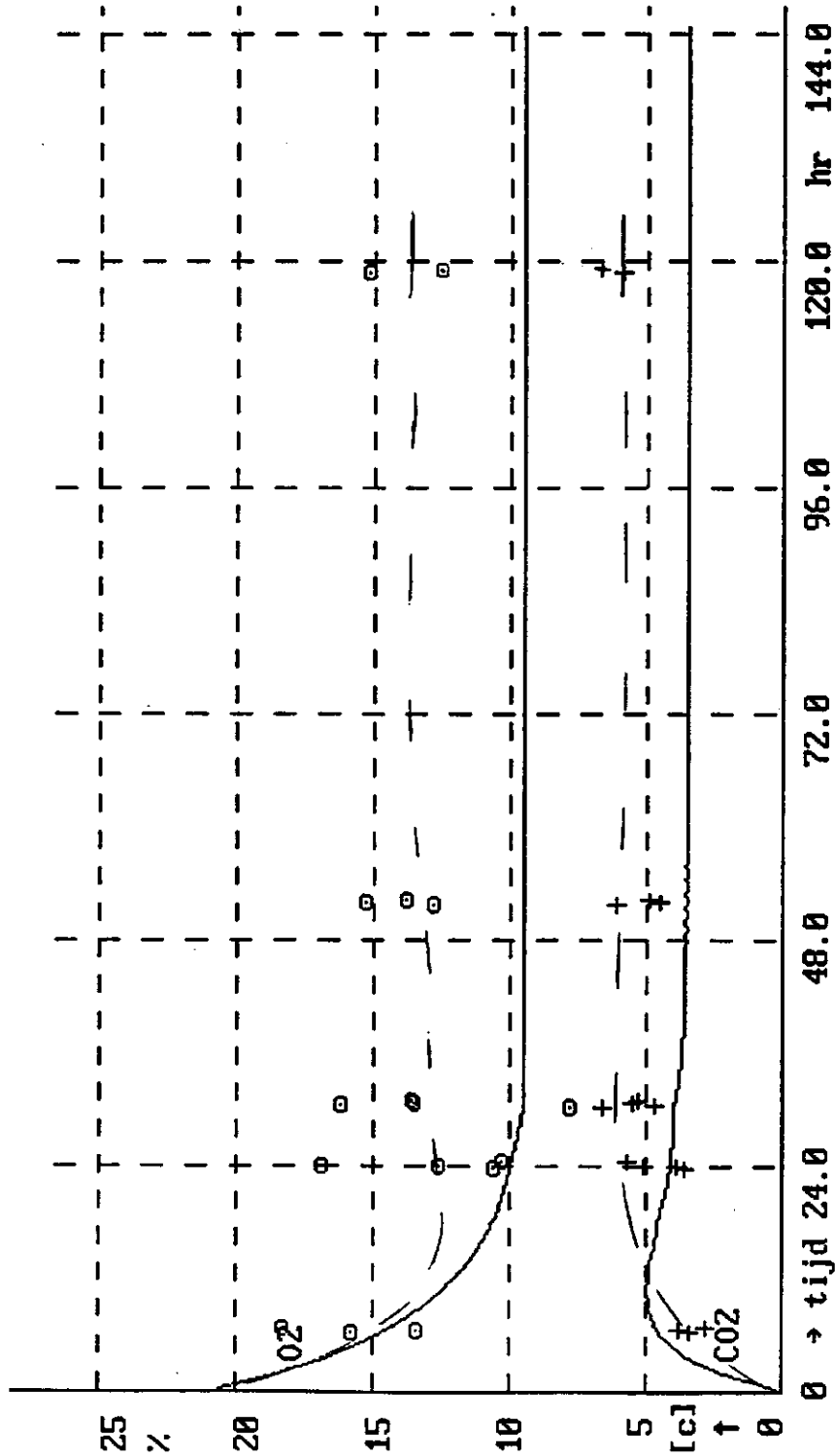
Afb. 14b: 5e opslagproef, 1e serie, Van Leer KLF 50, a.a. = 1390 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.230 kg
 ademhalingsactiviteit: 980 l/(ton.24h)
 begin volume : 525 ml
 oppervlakte : 170 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 8500 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 40000
 CO₂: 131000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



Afb. 15a: 5e opslagproef, 2e serie, Van Leer KLF 50, a.a. = 980 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)

massa aan Champignons: 0.230 kg
 ademhalingsactiviteit: 750 l/(ton.24h)
 begin volume : 525 ml
 oppervlakte : 170 cm²
 temperatuur : 283 K
 druk : 1 bar
 permeatie N₂: 8500 ml(STP)/(m² 24h bar)
 O₂: 40000
 CO₂: 131000
 waterdamp: 12 g/(m² 24h)



Afb. 15b: 5e opslagproef, 2e serie, Van Leer KLF 50, a.a. = 750 l/(ton.24h)
 o zuurstof (onderbroken = meetwaarden)
 + koolzuur (doorlopend = berekend)